

Antti Mulari ja Pietari Viitasalo

BIOMETAAININ HYÖDYNTÄMINEN MAASEUDULLA

BIOMETAAININ HYÖDYNTÄMINEN MAASEUDULLA

Antti Mulari ja Pietari Viitasalo
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma

Tekijät: Antti Mulari ja Pietari Viitasalo
Opinnäytetyön nimi: Biometaanin hyödyntäminen maaseudulla
Työn ohjaaja: Mikko Aalto
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2020 Sivumäärä: 55

Opinnäytetyö on toteutettu osana Oulun Ammattikorkeakoulun 6Aika CircVol-hanketta, jonka tarkoituksena on löytää uusia ratkaisuja teollisuuden sivuvirtojen hyödyntämiseen ja parantaa kiertoa taloutta. Hankkeessa ovat mukana myös Oulun ja Helsingin kaupungit, Turun ammattikorkeakoulu, Tampereen Yliopisto, Gasum ja muita alan yrityksiä.

Biometaani on hyvä energianlähde maatilalle sen korkean energiasisällön vuoksi. Ongelma biometaanin käytössä on kaasun kuljettamisen hankaluus. Kaasumaisessa olomuodossa oleva biometaani tarvitsee painesäiliön kuljetukseen ja lisäksi biometaani täytyy paineistaa kyseiseen säiliöön. Käyttökohteen mukaan saatetaan tarvita vielä paineenalennin, jotta biometaani saadaan oikeaan paineeseen. Nämä kaikki lisäävät käytöstä aiheutuvia kustannuksia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää biometaanin käyttömahdollisuuksia maaseudulla. Työssä perehdyttiin biokaasun puhdistamiseen ja sen käyttöön puhdistettuna, biokaasun jalostamiseen ja käyttöön jalostettuna sekä biometaanin kuljettamismahdollisuuksiin ja kuljettamiseen liittyviin säädöksiin. Saadaksemme lisätietoa biokaasun ja biometaanin käytöstä maatiloilla, kävimme tutustumassa maatiloilla sijaitseviin biokaasulaitoksiin. Lisäksi kävimme tutustumassa Demecan tehtaan Haapavedellä. Kehittämistehtävä tehtiin pohjoispohjalaiselle viljatilalle. Kehittämistehtävän tarkoituksena oli tutkia kannattavuutta, haasteita ja hyötyjä, joita liittyy traktoreiden konvertoimiseen ja viljankuivurin muuttamiseen biometaanikäyttöiseksi.

Tuloksena todetaan, ettei kohdetilalla ole taloudellisesti kannattavaa konvertoida traktoreita tai muuttaa viljankuivuria toimimaan biometaanilla. Haasteita kehittämistehtävään aiheutti kaasun siirto konttien ja kaasun hinnan löytäminen. Hyötyjä traktorin konvertoimisesta dual fuel -traktoriksi on päästöjen ja polttoainekustannusten pienentyminen. Viljankuivuri voidaan muuttaa biometaanilla toimivaksi asentamalla kattilaan öljypolttimen tilalle kaasupoltin.

Asiasanat: biokaasu, metaani, erotusmenetelmät, uusiutuvat energialähteet

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Agricultural and Rural Industries, Agronomist

Authors: Antti Mulari and Pietari Viitasalo

Title of thesis: Development of Biomethane Usage in Rural Areas

Supervisor: Mikko Aalto

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020 Number of pages: 55

The thesis has been carried out as part of the Oulu University of Applied Sciences' 6 Aika CircVol project, which aims to find new solutions for utilizing industrial side streams and improving the circular economy. The project also involves the cities of Oulu and Helsinki, Turku University of Applied Sciences, the University of Tampere, Gasum and some other companies.

Biomethane is a good source of energy for a farm due to its high energy content. The problem with the use of biomethane is the difficulty of transporting the gas. Biomethane in the gaseous state needs a pressure vessel to transport and in addition the biomethane must be pressurized into that tank. Depending on the application for use of pressurized biomethane, a further pressure reducer may be required to bring the biomethane to the correct pressure. These all increase cost of use.

The subject of this thesis was to study potential uses of biomethane in rural areas, which means that the work focused on the purification and use of biogas in purified form, upgrading biogas, usage of biomethane and regulations related to biomethane transport. To find out, how biogas and biomethane are used on Finnish farms, we visited farms with a biogas plant. We also visited the Demeca plant in Haapavesi. Development task for the thesis was done for a grain farm situated in Northern Ostrobothnia. The purpose of the development task was to study economical profitability as well as challenges and benefits of converting tractors and grain dryer to use biomethane.

In the development task, it was stated that on the target farm it is not economically viable to convert tractors or the grain dryer to use biomethane. Challenges to the development task were caused by finding gas transfer containers and gas prices. The benefits of converting a tractor to a dual fuel tractor are reduced emissions and fuel costs. The grain dryer can be converted to biomethane by installing a gas burner in the boiler instead of an oil burner.

Keywords: biogas, methane, separation methods, renewable energy sources

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	BIOKAASUN PUHDISTUS, JALOSTUS JA KÄYTTÖ	10
2.1	Biokaasun puhdistus ja käyttö puhdistettuna.....	10
2.1.1	Biokaasun käyttö lämmön ja höyryn tuotantoon.....	11
2.1.2	Biokaasun käyttö yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon	12
2.2	Biokaasun jalostus biometaaniksi.....	15
2.2.1	Membraani- eli kalvomenetelmä	17
2.2.2	Fysikaalinen absorptio vesipesulla.....	18
2.3	Biometaanin käyttö.....	19
2.3.1	Injektointi maakaasuverkkoon	20
2.3.2	Biometaanin käyttö tuotantopaikalla	21
2.3.3	Biometaanin kuljetus ja varastointi	22
2.4	Biometaanikäyttöiset maataloustyökoneet	24
3	AINEISTO JA MENETELMÄT	29
3.1	Kirjallisuuslähteiden valinta	29
3.2	Haastattelututkimus	29
4	TULOKSET	31
4.1	Biokaasun ja biometaanin hyödyntäminen suomalaisilla maatiloilla – haastattelututkimus	31
4.1.1	Maatalousyhtymä Salonen.....	31
4.1.2	Demeca Oy	33
4.1.3	Heusalan tila	34
4.1.4	Jahotec Oy.....	37
4.1.5	Haapajärven ammattiopisto	39
4.1.6	Wennströmin tila	40
4.1.7	Suupohjan koulutuskuntayhtymä Vuoksi.....	41
4.1.8	Knehtilän tila	42
4.1.9	Haastattelututkimuksen yhteenveto	43
4.2	Kehittämistehtävä kohdetilalle	44
4.2.1	Työkoneet	44
4.2.2	Kuivuri	45

4.2.3	Laskelmat.....	45
4.2.4	Laskennan tulokset.....	47
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	48
6	POHDINTA.....	49
	LÄHTEET.....	51

1 JOHDANTO

Nykyinen energiantuotantomme on hyvin riippuvainen fossiilisista polttoaineista, kuten raakaöljystä, maakaasusta sekä rusko- ja kivihiilestä. Fossiiliset polttoaineet ovat syntyneet miljoonien vuosien aikana kuolleiden kasvien ja eläinten jäänteistä. Niitä kutsutaan uusiutumattomiksi, koska niiden varannot ehtyvät paljon nopeammin kuin uusia syntyy. Fossiilisista polttoaineista poiketen biokaasu on uusiutuva energianlähde, koska sitä tuotetaan biomassasta. Biomassa syntyy aurion tuottaman energian varastoitua kasviin fotosynteesin avulla. (Lemvig Biogas 2008, 10.)

Fossiilisiin polttoaineisiin on sitoutunut hiiltä, joka on varastoitunut maankuoreen ja niitä poltettaessa biomassaan sitoutunut hiili vapautuu hiilidioksidin muodossa ilmakehään. Hiilidioksidi on kasvihuonekaasu, joten se voimistaa kasvihuoneilmiötä. Kasvihuoneilmiön voimistuminen johtaa ilmaston lämpenemiseen. Biokaasun polttamisessa syntyy hiilidioksidia samalla tavalla kuin minkä tahansa muun hiilivety-yhdisteen polttamisessa. Tärkein ero kuitenkin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna on biokaasun valmistaminen biomassasta, jolloin hiili kiertää luonnossa. Biokaasua käytettäessä hiilen määrä ei lisäännä luonnossa ja ilmakehässä. (Lemvig Biogas 2008, 11.)

Biokaasua syntyy biologisessa prosessissa, jossa anaerobisissa (hapettomissa) olosuhteissa mikrobit hajottavat orgaanista ainetta ja sivutuotteena syntyy metaanipitoista kaasua. Samalla syntyy lämpöä, jota tarvitaan ylläpitämään prosessia. Kyseinen prosessi esiintyy muun muassa järvien pohjan lietteessä, soissa ja märehitijöiden pötsissä. Biokaasua voidaan tuottaa biokaasulaitoksessa esimerkiksi eläinten lannasta, yhdyskuntajätteestä ja elintarviketeollisuuden jätteistä. Biokaasua voi myös kerätä kaatopaikalta, jolloin sitä kutsutaan kaatopaikkakaasuksi. (Lemvig Biogas 2008, 16; FNR 2012, 21.)

Biokaasuprosessissa syntynyt kaasuseos koostuu pääasiassa metaanista (50–75 %) ja hiilidioksidista (25–50 %). Lisäksi se sisältää vetyä, rikkivetyä, ammoniakkaa ja pieniä määriä muita kaasuja. Kaasuseoksen koostumus riippuu käytetyistä syötteistä ja biokaasulaitoksen teknisistä ratkaisuista. Kun biokaasusta poistetaan hiilidioksidi ja muut kaasut lukuun ottamatta metaania, kutsutaan sitä biometaaniksi. Biometaani voidaan syöttää kaasuverkkoon tai käyttää kaasukäyttöisten ajoneuvojen polttoaineena. (FNR 2012, 21; FNR 2013, 13.)

Tässä työssä esitellään aluksi minkälaisia käyttökohteita biokaasulle ja siitä jalostetulle biometaanille maaseudulla on kehitetty. Teoriaosassa kerrotaan myös, minkälaisia menetelmiä käytetään biokaasun puhdistukseen ja jalostukseen ja mitkä ovat niille sopivia käyttökohteita. Lisäksi listataan tämänhetkisiä biometaania käyttäviä maatalouskoneita. Tässä työssä ei ole tarkoitus perehtyä biokaasun tuotantoon eikä erilaisiin biokaasulaitostyyppeihin.

Teoriaosaa täydennettiin haastatteluilla, jotka tehtiin maatiloille, joilla on käytössä biokaasulaitos. Haastattelut ovat puolistrukturoituja. Niissä selvitettiin, miten maatiloilla hyödynnetään biokaasua. Lisäksi tutustuttiin Demecan tehtaaseen Haapavedellä. Siellä selvitettiin, miten yritys kehittää biokaasun hyödyntämistä maaseudulla.

Kehittämistehtävän tilakohtaista tarkastelua varten etsittiin tilaa, jolla ei ole omaa biokaasulaitosta. Kohdetila valikoitui pääasiassa tilan sijainnin perusteella. Etsimme sitä Oulun läheltä, noin kahdenkymmenen kilometrin säteeltä Oulun keskustasta. Lisävaatimuksena tilan täytyi olla keskikokoinen viljatilatila, joka kuivaa viljansa kuivurissa. Kohdetila, jolle kehittämistehtävä päätettiin tehdä, sijaitsee Limingassa. Kävimme tilalle yhden kerran hakemassa tarvittavia lähtötietoja, jonka jälkeen tietoja vaihdettiin tarpeen mukaan sähköisesti.

Kohdetilalla viljellään nurmea ja viljaa. Suurin energian kuluttaja tilalla on viljankuivuri (Kuvio 1), lisäksi energiaa kuluu polttoaineena kahdessa traktorissa ja leikkuupuimurissa. Kaikki työkoneet käyttävät polttoaineenaan polttoöljyä. Vuoden 2019 aikana traktorit ja leikkuupuimuri käyttivät polttoöljyä yhteensä 9 000 litraa. Kuivuri tuottaa lämpöä viljankuivaukseen polttoöljyikäyttöisellä uunilla, jonka maksimiteho on 310 kW. Syksyllä 2019 kuivuria on käytetty 340 tuntia eli polttoainetta on käytetty kuivurissa syksyn aikana 7500 litraa.



KUVIO 1. Mepun valmistama vaunukuivuri (kuva: Pietari Viitasalo)

Kehittämistehtävässä haluttiin saada vastaus kysymykseen: onko biometaanin käyttö kannattavaa viljankuivauksessa ja työkoneiden polttoaineena tilalla, jolla ei ole omaa biokaasulaitosta? Aluksi kehittämistehtävässä tarkastellaan yhteistyötilan nykyistä energian käyttöä ja suunnitellaan biometaanin käyttäviä energiaratkaisuja. Pääpaino suunnittelussa on taloudellinen näkökulma: tarkoituksena on tuoda rahallista säästöä tilalle.

Kehittämistehtävässä oletetaan, että biometaanin hankitaan Gasumin biokaasulaitokselta Oulun Ruskosta. Biometaanin kuljettamista varten tilan täytyy ostaa kaksi kaasukonttia, joten kontin ostamiselle ja kaasulle selvitettiin hinta. Kehittämistehtävässä lasketaan, kuinka paljon muutokset tulevat maksamaan ja lasketaan mahdollista säästöä, joka syntyy, jos polttoöljy korvataan biometaanilla. Lopuksi arvioidaan, paljonko tilalla saadaan vuoden aikana säästettyä polttoöljyä.

2 BIOKAASUN PUHDISTUS, JALOSTUS JA KÄYTTÖ

2.1 Biokaasun puhdistus ja käyttö puhdistettuna

Raaka eli puhdistamaton biokaasu sisältää metaanin lisäksi vesihöyryä, hiilidioksidia ja rikkivetyä. Rikkivety on myrkyllinen kaasu ja yhdessä biometaanin sisältämän vesihöyryn kanssa se muodostaa rikkihappoa, joka on hyvin syövyttävää. Jos puhdistamatonta biokaasua käytetään sähköntuotantoon CHP-moottorissa, voi rikkihappo syövyttää moottorin komponentteja. Tämä lyhentää huomattavasti moottorin käyttöikää. Biokaasun puhdistus vähentää myös sen käytöstä aiheutuvia ympäristöpäästöjä. Vesihöyry aiheuttaa jäätymisongelmia venttileissä ja muissa komponenteissa. (FNR 2012, 115; Aktiivihiihi 2020, viitattu 12.2.2020.)

Ennen puhdistamista biokaasu kuivataan, jolloin siitä poistetaan vesihöyry. Kuivaamisen jälkeen biokaasu johdetaan esimerkiksi aktiivihiihisuodattimeen (Kuvio 2), jossa siitä poistuu rikkivety. Yleisesti käytetään myös biologista puhdistusta, missä hyödynnetään *Sulfobacter oxydans* -bakteerin kykyä hapettaa rikkivety alkuainerikiksi. Kyseinen bakteeri vaatii happea elääkseen ja toimiakseen, joten kaasuväroastoon täytyy lisätä pieniä määriä ilmaa. Tämä menetelmä ei kuitenkaan ole suositeltava, jos kaasusta on tarkoitus jalostaa biometaania. Ilman lisäyksen mukana tulevaa tyyppiä on hankala jalostaa pois kaasusta. Puhdistamisen jälkeen biokaasu sisältää pääosin metaania ja hiilidioksidia, ja se on valmiina käytettäväksi lämmityskattilassa tai CHP-yksikössä. (FNR 2012, 118; Motiva Oy 2013, 11.)



KUVIO 2. Demecan käyttämä aktiivihiilisuodatin biokaasulaitoksen yhteydessä (kuva: Mikko Aalto)

2.1.1 Biokaasun käyttö lämmön ja höyryn tuotantoon

Edullisin tapa hyödyntää biokaasua on tuottaa siitä lämpöä lämmityskattilassa (Kuvio 3). Tavallisesti kosteuden ja rikkivedyn poistamisen jälkeen biokaasun painetta nostetaan hieman, kaasu jäädytetään ja kuljetetaan käyttökohteeseen esimerkiksi kaasuputkea pitkin kaasukattilalle käytettäväksi. Lämmityskattilan poltin käyttää ainostaan matalapaineista biokaasua, joten sen yhteyteen voi joutua hankkimaan paineenalentimen. Käyttökohteita biokaasun lämmityskäyttöön ovat useimmiten omakotitalot, joissa kaasulla tuotetaan tarvittava lämmin käyttövesi. Biokaasulaitosten yhteydessä on usein myös lämmityskattila, jolla voi tuottaa lämpöä biokaasureaktorille. Lämmityskattila toimii myös hyvänä varajärjestelmänä. (Lemvig Biogas 2008, 42; FNR 2012, 129.)

Jos biokaasua käytetään maakaasukäyttöisissä lämmityskattiloissa, voi polttimeen joutua tekemään pieniä muutoksia tai säätöjä, koska biokaasun lämpöarvo on heikompi kuin maakaasun johdun biokaasun matalammasta metaanipitoisuudesta. Tyypillisen kotitalouskäyttöön tarkoitetun lämmityskattilan hinta on 4 000 euron luokkaa. (FNR 2012, 138; Suomen Maalämpötukku 2020, viitattu 12.2.2020.)



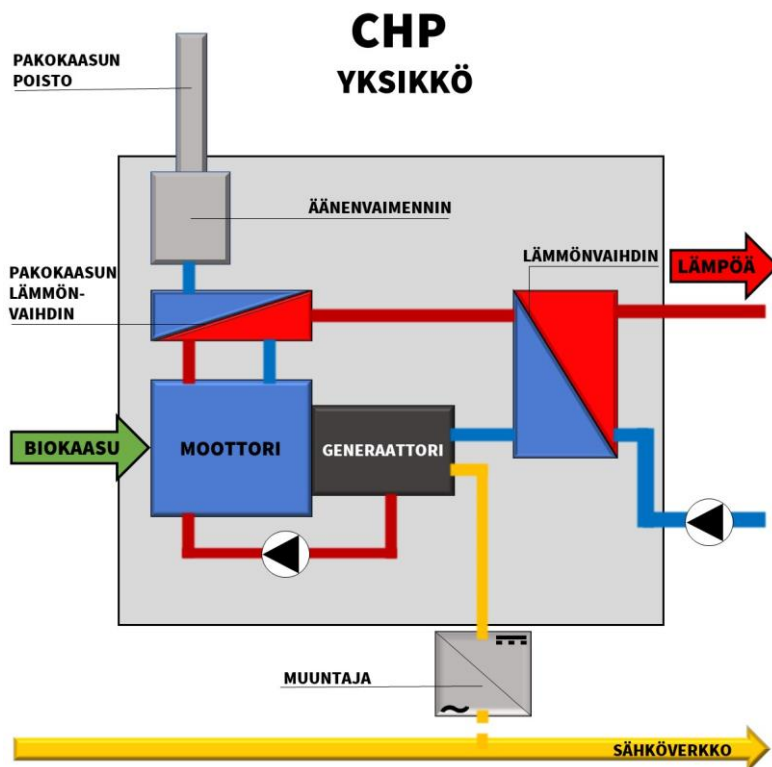
KUVIO 3. Biokaasua käyttävä lämmityskattila (kuva: Mikko Aalto)

Toinen tapa käyttää puhdistettua biokaasua on tuottaa siitä höyryä teollisuuskäyttöön, kuten Snellmannin tehtaalla Pietarsaaressa tehdään. Biokaasu kuivataan, sen painetta nostetaan hieman ja siitä poistetaan rikkivety samaan tapaan kuin lämmityskäytössä. Puhdistuksen jälkeen biokaasua käytetään polttoaineena valmistettaessa kuumaa ja korkeapaineista höyryä. Käyttökohteen on oltava lähellä höyryn tuotantopaikkaa, sillä höyryn kuljetukseen tarkoitettu putkisto on kallis rakentaa ja höyryn lämpötila laskee kuljetuksen aikana. (FNR 2012, 129.)

2.1.2 Biokaasun käyttö yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon

Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto eli CHP (Combined Heat and Power) (Kuvio 4) tarkoittaa, että laitos tuottaa yhtä aikaa sekä sähköä että lämpöä. Se on myös yleisin tapa käyttää biokaasua maatilakokoluokan laitoksissa johtuen energiatehokkuudestaan. Polttomoottorilla toimivan CHP-laitoksen kokonaishyötysuhde voi olla jopa 90%, mikä on todella hyvä arvo. Biokaasusta se tuottaa 65% lämpöä, 35% sähköä ja noin 10% hukkalämpöä, jota ei saada hyödynnettyä. Osa lämmöstä

kuluu biokaasulaitoksen lämmittämiseen, joten kaikkea energiaa ei saada ulkopuoliseen käyttöön. (Lemvig Biogas 2008, 42.)



KUVIO 4. CHP-Yksikön toimintaperiaate

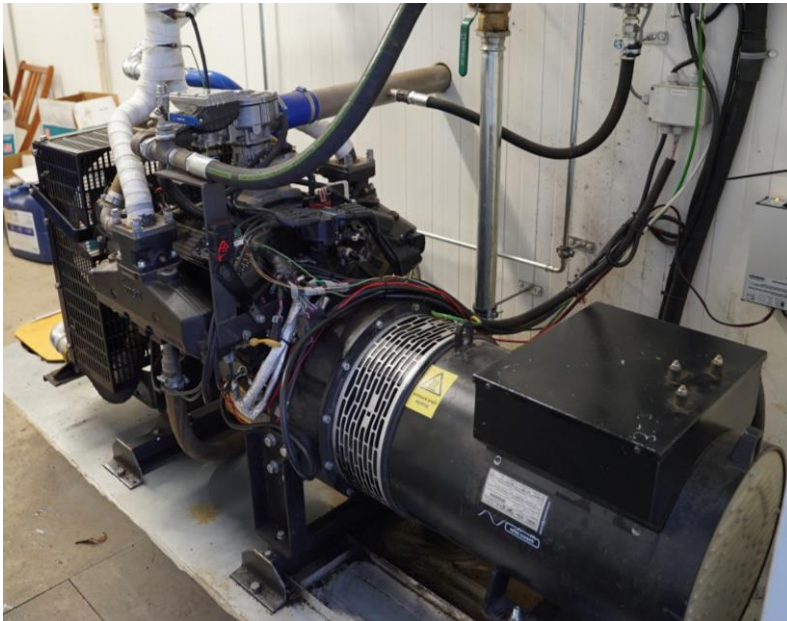
Sähkö tuotetaan siten, että moottoriin on kytketty kolmivaihegeneraattori, joka tuottaa moottorin liike-energiasta sähköenergiaa. Generaattorin täytyy olla sähköverkkoon tahdistettu, jotta tuotettu sähkö on jännitteen itseisarvoltaan ja vaihekulmaltaan lähes samanlaista kuin sähköverkossa. Moottorista lämpö saadaan talteen lämmönvaihtimien avulla pakokaasusta ja moottorin jäähdytysnesteestä. Lämmönvaihtimilta lämpö saadaan siirrettyä käyttökohteeseen. (FNR 2012, 42; Helen Sähköverkko Oy 2017, viitattu 10.3.2020.)

Seuraavassa on listattu erilaisia teknisiä ratkaisuja biokaasun hyödyntämiseen sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. Eri vaihtoehtoista on kerrottu yleinen toimintaperiaate, tyypilliset käyttökohteet ja hyvät sekä huonot puolet.

Kaasukäyttöinen ottomoottori

Yleisin tapa hyödyntää biokaasua yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa on käyttää sitä polttoaineena kaasukäyttöisessä ottomoottorissa (Kuvio 5). Niitä käytetään yleensä sähköteholtaan alle 100 kW:n käyttökohteissa. Kaasukäyttöinen ottomoottori vaatii toimiakseen, että biokaasun

metaanipitoisuus on yli 45%. Biokaasu sytytetään sytytystulpilla. Edullisuuden ja hyvän hyötysuhteen ansiosta CHP-laitoksissa käytetään useimmiten mäntämoottoreita. (Lemvig Biogas 2008, 43-44; Motiva Oy 2013, 18.)



KUVIO 5. Kaasukäyttöinen ottomoottori ja siihen yhdistetty generaattori (kuva: Mikko Aalto)

Kaasukäyttöinen dieselmoottori

Suuremmissa, sähköteholtaan noin 300 kW:n kokoluokan, laitoksissa käytetään dieselmoottorista muutettua kaasumoottoria energiantuotantoon. Biokaasu sekoitetaan imuilmaan ja se kulkeutuu moottorin palotilaan. Metaani kestää puristamista erittäin hyvin syttymättä, joten biokaasu joudutaan sytyttämään moottorissa joko pienellä annoksella dieselöljyä tai sytytystulpilla. Jos dieselöljyä käytetään biokaasun sytyttämiseen, moottorin päästöt eivät ole yhtä pienet kuin täysin kaasukäyttöisen moottorin. Tulppasytytteiseen moottoriin on lisätty sytytysjärjestelmä, jolloin biokaasu saadaan sytytettyä sytytystulpilla. Näin moottori saadaan toimimaan pelkällä biokaasulla. (FNR 2012, 125; Motiva Oy 2013, 18.)

Stirlingmoottori

Stirlingmoottorin toiminta perustuu lämpötilaeroihin. Moottorissa olevaa kaasua lämmitetään ja jäähdytetään vuoron perään, mikä aiheuttaa paineen vaihtelua. Paineen vaihtelu saadaan muutettua liike-energiaksi. Koska stirlingmoottorissa palaminen tapahtuu moottorin ulkopuolella, se voi käyttää lähes mitä tahansa polttoainetta. Koneen huonoja puolia ovat suuri massa, kierrosluvun ja tehon säätämisen hankaluus sekä kallis rakenne. Kyseistä moottoria on käytetty vain muutamassa pilottihankkeessa sähkön tuottamiseen biokaasusta. (FNR 2012, 132.)

Kaasuturbiini

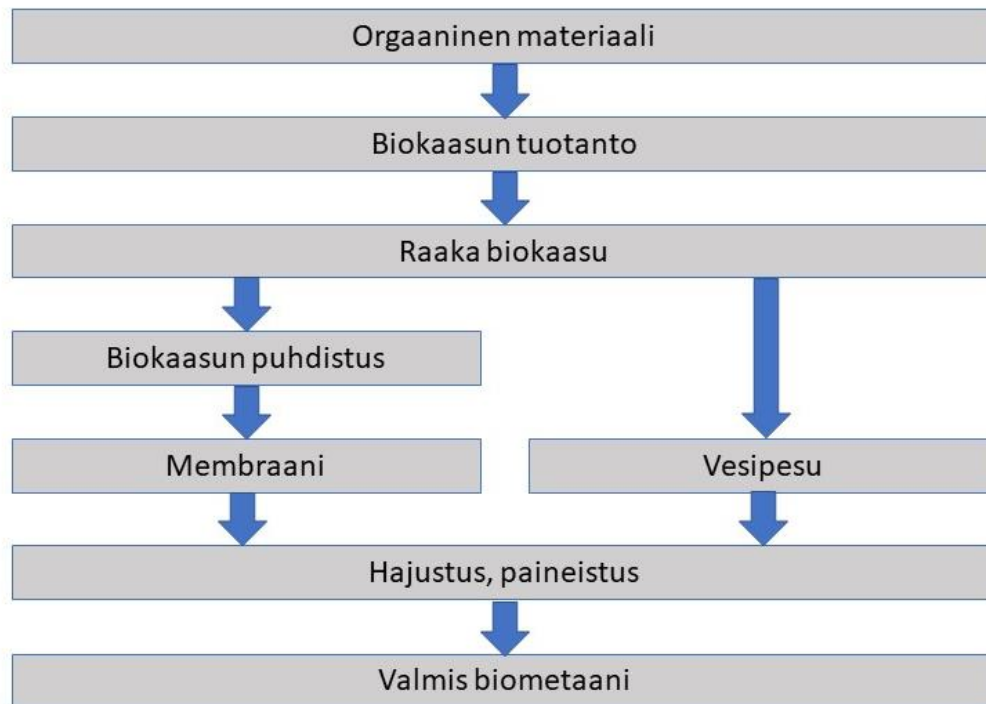
Kaasuturbiinissa ympäröivä ilma imetään sisään ja puristetaan kompressorin avulla palokammioon. Palokammioon syötetään biokaasua ja se sytytetään. Syttymisen seurauksena lämpötilan nousu aiheuttaa palokaasujen laajentumiseen ja laajenevat palokaasut ohjataan turbiiniin, mikä saa sen pyörimään. Prosessi vapauttaa paljon enemmän energiaa kuin kompressorissa ilman puristamiseen kuluu. Energia, joka jää yli kompressorin pyörittämisestä, käytetään sähkön tuotantoon generaattorissa. Jatkuvan palamisen ansiosta kaasuturbiinin pakokaasupäästöt ovat matalampia kuin vastaavan tehoisen mäntämoottorin. Kaasuturbiinin huoltovälit ovat paljon pidempiä kuin mäntämoottorin. Määräaikaishuolto on tehtävä noin 8 000 tunnin välein eli noin kerran vuodessa. Turbiinin käyttöikä on noin 80 000 tuntia, mikä on noin 9 vuotta jatkuvaa käyttöä. Kaasuturbiinin heikkous on sen huono sähkötehon osuus, joka on vain noin 30%. (FNR 2012, 132–133.)

Polttokenno

Polttokennoissa polttoaineen kemiallinen energia tuotetaan suoraan sähköenergiaksi. Polttokennot tarjoavat jopa yli 50 %:n hyötysuhteen sähköntuotantoon. Polttokennon toiminta perustuu elektrolyysiin, jossa sähkövirran avulla saadaan pilkottua yhdisteitä. Kenno koostuu kahdesta puoliläpäisevästä kalvosta, joista toinen kalvo on anodi ja toinen on katodi. Ne erotetaan toisistaan elektrolyytillä. Polttokenno vaatii polttoaineiksi vetyä ja happea, joten biokaasun metaani muutetaan vedyksi. Vety ja happi reagoivat muodostaen sähköä, vettä ja lämpöä. Prosessista saadaan sähkö ja lämpö talteen. Polttokenno on erityisen herkkä biokaasun epäpuhtauksille, joten biokaasu pitää saada puhdistettua huolellisesti. Haitallisin on hiilimonoksidi, joka on hankala puhdistaa biokaasun seasta. Polttokennolla saadaan tuotettua 100–200 kW:n sähköteho. (FNR 2012, 133–134.)

2.2 Biokaasun jalostus biometaaniksi

Biokaasussa on noin 55–75 % metaania ja 25–45 % hiilidioksidia. Jos biokaasua halutaan käyttää liikennepolttoaineena tai sitä halutaan injektoida kaasuverkkoon, täytyy se ensiksi jalostaa (Kuvio 6). Jalostaessa biokaasusta poistetaan mahdollisimman paljon hiilidioksidia ja näin nostetaan kaasun metaanipitoisuutta ja lämpöarvoa. (Motiva Oy 2013, 3, 21.)



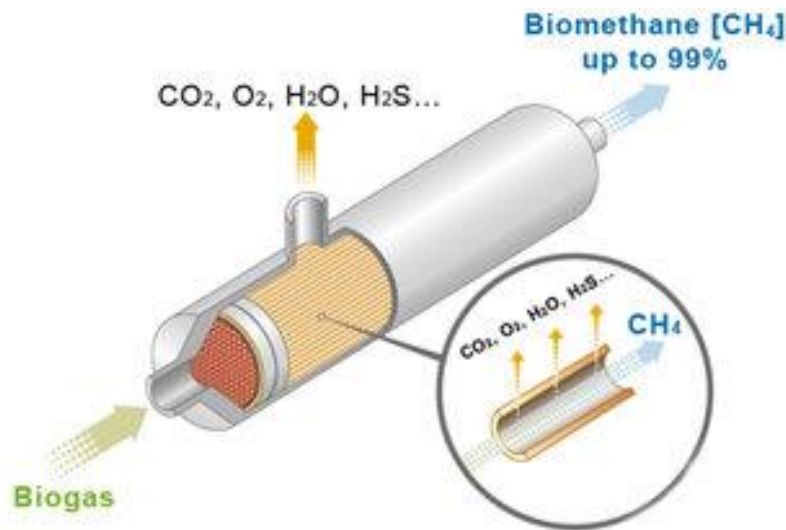
KUVIO 6. Prosessikaavio biokaasun tuotannosta valmiiksi biometaaniksi

Biokaasu katsotaan biometaaniksi, kun sen metaanipitoisuus on yli 80 %. Jos metaanipitoisuus on alle 80 %, katsotaan se raakakaasuksi. Biometaania koskevat pääsääntöisesti samat säädökset kuin maakaasua. Ajoneuvoihin tankattavan biometaanin pitää aina olla hajustettua. Biometaani hajustetaan, koska metaani on hajuton ja väritön kaasu. Hajusteen tarkoituksena on ilmaista, jos hengitettävän ilman sekaan on päätnyt metaania. Hajusteena voidaan käyttää tetrahydrotiofeeniä, jota lisätään biometaaniin noin 10 mg/Nm³. (Söderena, Suomalainen, Kajonlinna & Melin 2019, 8; Suomen kaasuyhdistys 2020, viitattu 19.3.2020.)

Biokaasua voidaan jalostaa monilla erilaisilla menetelmillä: membraani- eli kalvomenetelmä, fysi- kaalinen absorptio vesipesulla, fysikaalinen adsorptio aktiivihiileen, fysikaalinen absorptio kemikaalipesulla, kemiallinen absorptio amiinipesulla ja kryojalostus (Biokaasuauto.fi, viitattu 14.4.2020). Tässä työssä tutustutaan tarkemmin membraani- eli kalvomenetelmään ja fysikaaliseen absorptioon vesipesulla, koska ne ovat yleisimmin käytössä pienillä ja keskisuurilla jalostusasemilla.

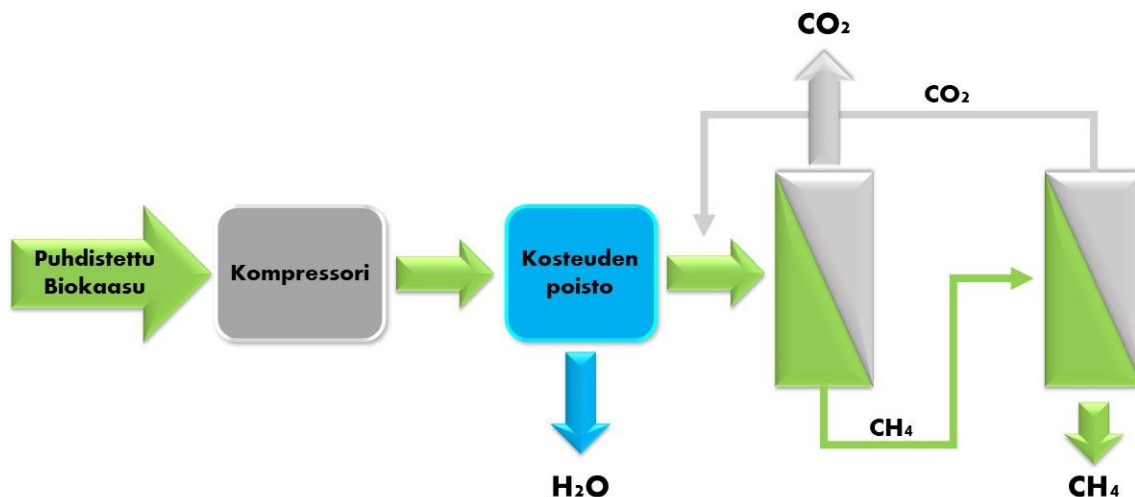
2.2.1 Membraani- eli kalvomenetelmä

Membraani on puoliläpäisevä kalvo, joka on tehty materiaaleista, jotka päästävät läpi hiilidioksidin, ammoniakin ja veden. Tekniikka perustuu eri molekyylien kokoeroihin. Membraanit ovat yleensä onttoja kuituja, jotka on kasattu yhteen nippuun (Kuvio 7). Käytettäessä membraanitekniikkaa on biokaasu puhdistettava ensin rikkivedystä, koska se ei läpäise membraania ja näin ollen kulkeutuu metaanin mukana pois membraanista. (IEA Bioenergy 2009, 11.)



KUVIO 7. Membraanin toimintaperiaate (Air Liquide 2020a).

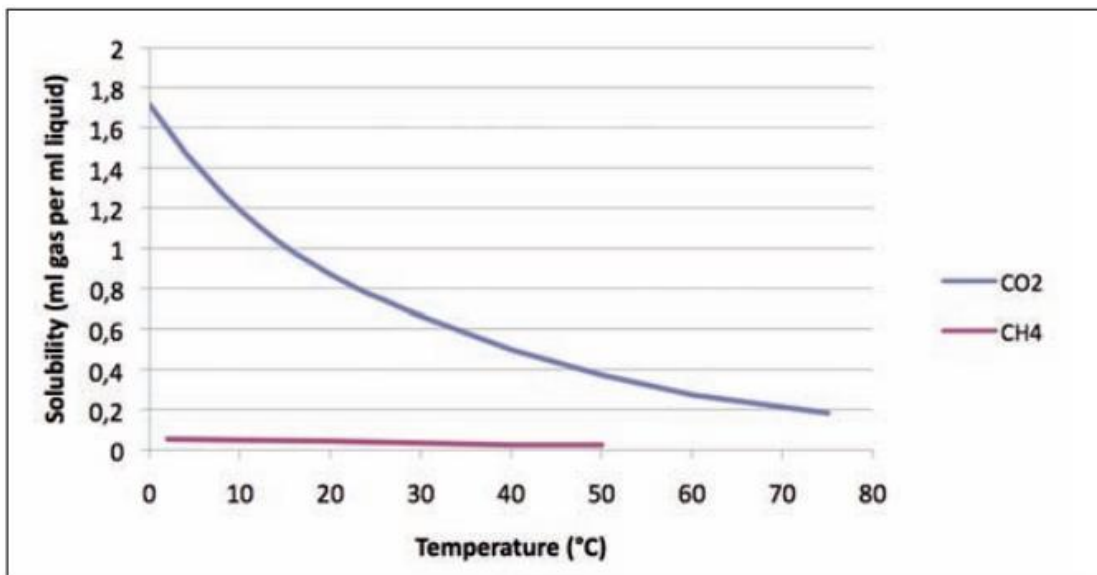
Puhdistettu biokaasu paineistetaan kompressorilla 8–10 baarin paineeseen. Sen jälkeen kaasusta poistetaan kosteus, koska vesi pienentää membraanin tehokkuutta. Tämän jälkeen kaasu syötetään membraaniin, jossa hiilidioksidi menee membraanin kuiduista läpi ja metaani kulkee kuituja pitkin pois. Membraaneja voi olla useita peräkkäin, jolloin saavutetaan korkeampi metaanipitoisuus (Kuvio 8). (IEA Bioenergy 2007, 20–21; IEA Bioenergy 2009, 11.)



KUVIO 8. Membraanijalostuksen toimintakaavio

2.2.2 Fysikaalinen absorptio vesipesulla

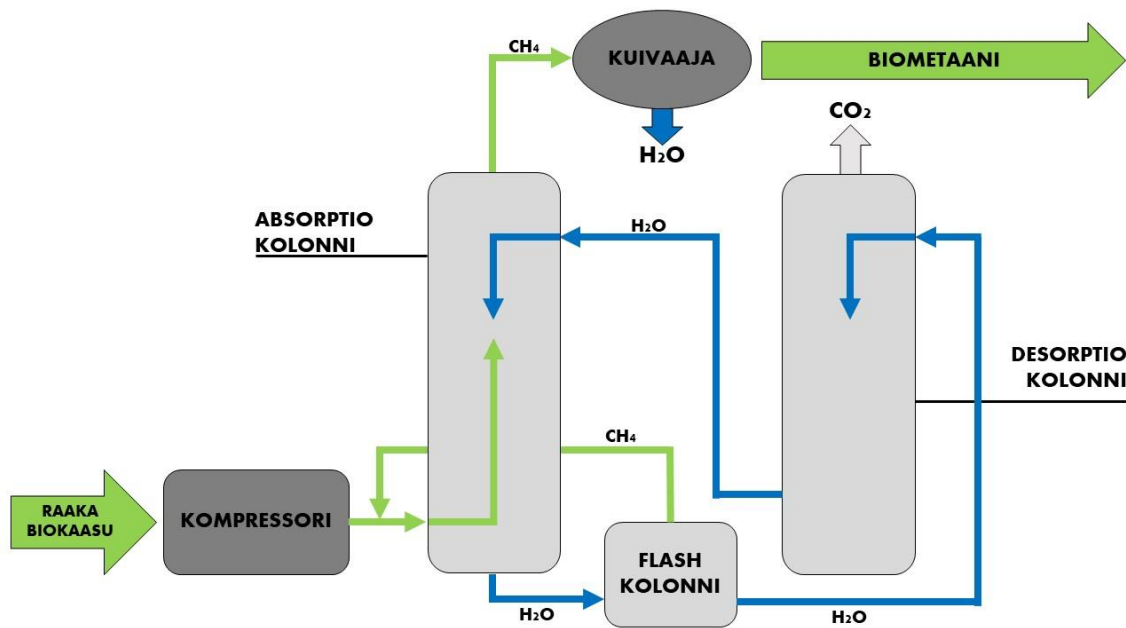
Fysikaalinen absorptio vesipesulla on yleisin käytössä oleva biokaasun jalostustapa. Vesipesun tekniikka perustuu siihen, että hiilidioksidi liukenee veteen paremmin kuin metaani (Kuvio 9). Hiilidioksidin liukoisuus on sitä korkeampi mitä viileämpää vesi on. (IEA Bioenergy 2009, 10.)



KUVIO 9. Hiilidioksidin ja metaanin liukoisuudet veteen (IEA Bioenergy 2009, viitattu 13.2.2020).

Vesipesussa (Kuvio 10) raakabiokaasu paineistetaan ensiksi 7–10 baarin paineeseen. Sitten biokaasu syötetään absorptiokolonnein alapuolelta. Vesi syötetään kolonnein yläpäästä. Hiilidioksidi, rikkivety ja ammoniakki liukenevat veteen. Koska rikkivety poistuu vesipesussa, ei biokaasua tar-

vitse puhdistaa etukäteen. Metaani poistuu kolonnin yläpäästä, kun taas vesi poistuu kolonnin alapäästä. Veden mukana poistuu hiilidioksidin lisäksi vähän metaania, ja siksi vesi voidaan syöttää absorptiokolonnin jälkeen flashkolonniin. Flashkolonnissa veden pintajännitys laskee, jolloin metaani vapautuu. Metaani poistuu kolonnin yläpäästä ja kiertää takaisin biokaasun sekaan. Vesi syötetään flashkolonnin jälkeen desorptiokolonniin yläpäästä. Desorptiokolonnissa veden pintajännitys laskee ilmakehän paineeseen. Desorptiokolonniin voidaan syöttää ilmaa alhaalta päin ja näin nopeuttaa hiilidioksidin vapautumista. Hiilidioksidi poistuu kolonnin yläpäästä. Vesi on tämän jälkeen regeneroitu ja sitä voidaan käyttää uudelleen. Prosessissa talteen saatu biometaani täytyy kuivata ennen kuin sitä voidaan käyttää. (FNR 2013, 15–16.)



KUVIO 10. Vesipesutekniikka

2.3 Biometaanin käyttö

Biometaani on tärkeä uusiutuvan energian lähde. Biometaania voidaan hyödyntää injektoimalla se olemassa oleviin maakaasuverkkoihin tai käyttämällä se polttoaineena. Biometaania käyttävät sekä yritykset että yksityiset kuluttajat. (FNR 2013, 26.)

Biometaania voidaan käyttää polttoaineena missä tahansa kaasujoneuvossa, koska biometaani on yhtä puhdasta kuin maakaasu. Biometaania käytetään polttoaineena joko paineistettuna noin 200 baariin tai nesteytettynä. Nesteytetty biometaani säilytetään alle -162 °C :ssa. Vuoden 2019 syyskuussa Suomessa oli 9057 kaasujoneuvoa. Myös vanhan bensiini- tai dieselajoneuvon voi

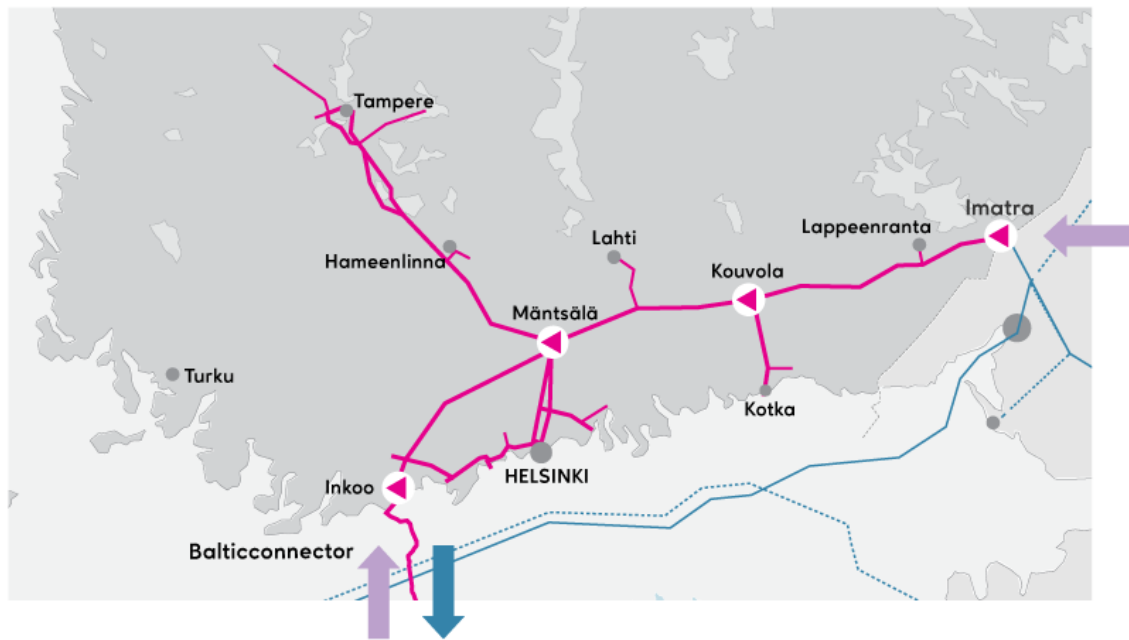
konvertoida käyttämään kaasua. Suomessa on viime vuosina alkanut yleistymään nesteytetyn biometaanin käyttö raskaan liikenteen polttoaineena. Biometaania polttoaineena käyttävät kuorma- ja linja-autot tuottavat selvästi vähemmän päästöjä kuin dieseliä polttoaineena käyttävät. (FNR 2012, 138; Työ- ja elinkeinoministeriö 2020; Autoalan tiedotuskeskus 2020, viitattu 20.2.2020.)

2.3.1 Injektointi maakaasuverkkoon

Biometaania voidaan injektoida maakaasuverkkoon, mutta ensiksi se pitää paineistaa maakaasuverkon kanssa samaan paineeseen. Jotta biometaania voidaan syöttää kaasuverkkoon, täytyy sen täyttää kaasuverkon hallinnoijan asettamat standardit. Tällä säädöksellä voidaan varmistua siitä, että kaasuverkkoon ei syötetä epäpuhdasta metaania. Yksi biometaanin injektoinnin eduista on, että kauempana taajaman ulkopuolella sijaitseva biokaasulaitos voi tarjota biometaania asiakkaille kaupungissa. Lisäksi biokaasulaitos voi lisätä kaasun tuotantomäärää ilman huolta siitä, mihin ylimääräinen kaasu käytetään. (Lemvig Biogas 2008, 49–50; Biokaasuauto.fi 2020, viitattu 26.2.2020.)

Yksi tapa syöttää biometaania maakaasuverkkoon esimerkiksi maatilakokoluokassa on verkkoliitostkontti. Verkkoliitostkontissa olevat laitteet säätävät syötettävän biometaanin paineen tarkasti verkon hallinnoijan asettamalle tasolle. Verkkoliitostkontissa on myös mahdollisuus kaasun määrän mittaukseen kaasun laskutusta varten. Kaasu voidaan syöttää verkkoliitostkontille suoraan biometaanin puhdistamisen jälkeen tai se voidaan tuoda kauempaa paineistettuna siirtokontilla. (Biovoima 2020, viitattu 27.2.2020.)

Suomen kaasuverkko (Kuvio 11) siirtyi 1.1.2020 Gasumilta Gasgrid Finland Oy:n hallintaan. Gasgrid Finland Oy eriytettiin Gasum Oy:stä, koska vuonna 2018 voimaan tulleen maakaasumarkkinalain mukaan kaasun siirto ja energian myynti pitää olla eriytettynä toisistaan. Gasgrid Finland Oy ylläpitää Suomen biokaasusertifikaattijärjestelmää. Maakaasuverkkoon injektoidulle biometaanille myönnetään sertifikaatteja biokaasusertifikaattijärjestelmän kautta. (Gasgrid Finland Oy 2020a; Gasgrid Finland Oy 2020b, viitattu 26.2.2020.)



KUVIO 11. Suomen maakaasuverkko (Gasgrid Finland Oy 2020c, viitattu 26.2.2020)

2.3.2 Biometaanin käyttö tuotantopaikalla

Suomessa Metener Oy myy maa- ja biokaasun hidastankkauslaitteita yrityksille ja yksityisille kuluttajille (Kuvio 12). Tankkauslaitteen eduiksi kerrotaan helppo asennus, joka vaatii vain kiinteän kaasu-liittymän ja 16 A:n voimavirtapistokkeen. Takaisinmaksuaika on vain 2–3 vuotta, jos vuotuinen ajomäärä on 50 000–100 000 kilometriä. Laitteen tekniikasta kerrotaan se, että siinä on 3-vaihe-kompressori, jolla voidaan paineistaa kaasua 5 Nm³/h. Tämä tarkoittaa, että yhden 90 litran kaasu-pullon täyttäminen kestää noin 4,5 tuntia. Laitteella saadaan kaasu paineistettua korkeimmillaan 235 baariin. Se sisältää lisäksi kaasun mittauksen, metaanin vuotohälyttimen ja kaasun kuivaimen. Laite soveltuu sekä sisä- että ulkokäyttöön ja siihen on mahdollista saada kaksi täyttöletkua. (Metener Oy 2017, viitattu 27.2.2020.)



KUVIO 12. Kaasun hidastankkauslaite (Metener Oy 2017, viitattu 27.2.2020)

Tšekkiläinen MOTORJIKOV Group myy nopeatankkausasemia. MJ VARIANT PLUS tankkausasemalla (Kuvio 13) voidaan tankata 60 000 m³ kaasua vuodessa. Tankkausasemalla on 1 680 litran kaasusäiliö ja tankkausaika on noin 2–3 minuuttia. Tankkausasema on koppi, joka on kooltaan 2,5 x 3,5 x 2,5 m. Kaikki tekniikka sijaitsee kopin sisällä. Tekniikkana on 2–4 kappaletta 3-vaihekompressoreja, joka tarkoittaa 10–20 Nm³/h kaasun paineistusta. (MOTORJIKOV 2020, viitattu 27.2.2020.)



KUVIO 13. Nopeatankkausasema (MOTORJIKOV 2020, viitattu 27.2.2020)

2.3.3 Biometaanin kuljetus ja varastointi

Suomessa kaasuverkko on painottunut Etelä-Suomeen, joten sitä ei voida hyödyntää biometaanin siirtoon muualla. Biometaania voidaan kuljettaa paineistettuna monisäiliökonteissa tai nesteytet-

tynä. Ruotsissa on tutkittu, että kuljetettaessa biometaania tietä pitkin on alle 200 kilometrin matkoilla paras kuljettaa kaasu paineistettuna. Yli 200 kilometrin etäisyyksille kaasu on paras kuljettaa nesteytettynä. (IEA Bioenergy 2014, viitattu 10.3.2020.)

MEGC eli monisäiliökontteja on monen kokoisia. Biometaanin paineistetaan 200–300 baariin, joten konttien täyttöasemalla täytyy olla paineistusjärjestelmä. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 1) on yrityksen UMOE Advanced Composites AS tarjoamat monisäiliökontit paineistetun biometaanin kuljetukseen. (Gustafsson & Stoor 2008, 9; UMOE Advanced Composites AS 2020, viitattu 11.3.2020.)

TAULUKKO 1. UMOE Konttien tiedot (UMOE Advanced Composites AS 2020, viitattu 11.3.2020)

Kontin koko	Yksikkö	20" Hook MEGC	20" Hook MEGC Standardi	20" ISO Standardi	20" ISO High Cube	40" ISO Standardi	40" ISO High Cube	45" ISO Standardi	45" ISO High Cube
Säiliöiden määrä	#	8	9	9	11	18	22	18	22
Säiliön tilavuus	l	1 650	1 650	1 650	1 650	1 700	1 700	1 925	1 925
Kokonais varastointi tilavuus	l	13 200	14 850	14 850	18 150	30 600	37 400	34 650	42 350
Varastointi tilavuus (200 bar)	kg	2 371	2 667	2 667	3 260	5 497	6 718	6 224	7 607
Varastointi tilavuus (250 bar)	kg	2 799	3 149	3 149	3 849	6 489	7 931	7 348	8 981

Vuonna 2018 Gasum Oy aloitti kuljetusyhteistyön kaasukonttien siirrossa Speed Group Oy:n kanssa. Gasum ja Speed Group haluavat edistää kehitystä kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. Kontit mahdollistavat tankkausasemien perustamisen myös kaasuverkon ulkopuolella oleville paikkakunnille ja käyttöpaikoille. Gasumin kaasukontit toimittaa norjalainen UMOE Advanced Composites AS. (Gasum Oy 2018, viitattu 11.3.2020.)

Biometaanin varastoinnilla tarkoitetaan sen säilytystä muualla kuin kaasuverkossa. Yli 200 kg:n ja alle 5 000 kg:n varastoinnista on tehtävä ilmoitus Tukesiin. Jos varastoitavan biometaanin määrä on yli 5 000 kg mutta alle 50 000 kg, täytyy Tukesilta hakea rakentamislupaa kyseiselle varastolle.

50 000–200 000 kg:n varastointimäärille pitää taas olla tehtynä toimintaperiaateasiakirja ja yli 200 000 kg:n varastointimäärille pitää olla turvallisuusselvitys. (Tukes 2020, viitattu 12.3.2020.)

Biometaania saa kuljettaa kuljettamiseen soveltumattomissa ajoneuvoissa (esimerkiksi henkilö-auto tai sen perävaunu) enintään 50 litraa kerrallaan. Määrä vastaa tilavuudeltaan yhtä teräksistä kaasupulloa. Jos biometaania kuljetetaan ajoneuvossa, joka ei ole tarkoitettu sen kuljettamiseen, täytyy pitää erityistä huolta turvallisuudesta. Kaasupullot pitää kuljettaa pystyasennossa ja ne pitää sitoa huolellisesti kiinni. Biometaania ei saa kuljettaa kokonaan suljetussa autossa. Kaasupullojen venttiilien täytyy olla kiinni ja venttiilisuoja paikallaan. Paineenalentimien ja muiden lisälaitteiden tulee olla irrotettuina. Palavaa materiaalia ei saa säilyttää kaasupullojen lähellä ja ajoneuvossa täytyy olla palosammutin mukana. (Air Liquide 2020b, viitattu 12.3.2020.)

2.4 Biometaanikäyttöiset maataloustyökoneet

Seuraavaksi on lueteltu erilaisia biometaanikäyttöisiä maataloustyökoneita. Koneista esitellään teho ja esittelyajankohta sekä muita yleisiä tietoja. Päästöjen alentuminen ja polttoainekulujen pienentyminen on monella biometaanikäyttöisillä työkoneilla valmistavilla yrityksellä keskeinen markkinointikeino.

New Holland T6 Methane Power

New Holland esitteli vuoden 2019 Agritechnica-näyttelyssä sarjatuotannossa olevan metaanikäyttöisen traktorin (Kuvio 14). Metaanikäyttöinen T6 -konseptitraktori voitti ”Sustainable tractor of the Year 2020” -palkinnon. T6 hyödyntää mono fuel -tekniikkaa. T6:ssa on 180 hevosvoimaa tehoa ja 740 Nm vääntöä. T6:n luvataan saavuttavan jopa 30% alemmat käyttökustannukset kuin dieselkäyttöinen traktori. Hiilidioksidipäästöjä sen luvataan laskevan vähintään 10% ja kokonaispäästöjä jopa 80%. T6:ssa on 6,7 litran NEF -moottori, jonka on toimittanut FPT Industrial. Kaasusäiliöt on sijoitettu dieseltankkien tilalle, mikä mahdollistaa hyvän näkyvyyden hytistä. T6:een on mahdollista kiinnittää lisäsäiliö, jolla saadaan lisää työtunteja. Traktorissa on kaasuliitin etu- ja takapuolelta, joten lisäsäiliö voidaan kiinnittää joko etu- tai takanostolaitteisiin. (New Holland Agriculture 2019, viitattu 11.3.2020.)



KUVIO 14. New Holland T6 Metaanikäyttöinen traktori (Farm Trader 2020, viitattu 11.3.2020)

Steyr Profi 4135 Natural Power

Steyr esitteli vuoden 2011 Agritechnica-näyttelyssä sarjatuotannossa olevan maakaasukäyttöisen traktorin (Kuvio 15). Profi 6125 -malliin perustuvassa Profi 4135 -traktorissa on turboahdettu mono fuel -moottori, joka käyttää polttoaineena CNG:tä. Moottorin on valmistanut FPT Industrial ja se tuottaa 136 (max. 143) hevosvoimaa tehoa ja 542 Nm vääntöä. Profi 4135:n luvataan vähentävän hiilidioksidipäästöjä 25% ja typpioksidipäästöjä 95% verrattuna dieselkäyttöiseen traktoriin. Kaa-susäiliöitä on yhdeksän ja niiden yhdistetty tilavuus on 300 litraa. Säiliöt on integroitu traktorin run-koon. (NVG Global News 2011, viitattu 11.3.2020.)



KUVIO 15. Steyr Profi 4135 Natural Power (Landtechnik Magazin 2011, viitattu 11.3.2020)

Valtra

Valtran ensimmäinen biokaasutraktori oli malliltaan N101 ja siinä on 110 hevosvoimaa tehoa. Se hyödyntää dual fuel -teknologiaa eli se käyttää dieseliä ja biokaasua yhdessä. Dual fuel -tekniikka perustuu siihen, että dieselmoottorissa kaasu sytytetään dieselin avulla. Kaasutankilla saavutettiin 3–4 tunnin yhtenäinen ajo ilman tankkausta. (Laakkonen 2012, viitattu 11.3.2020.)

Vuonna 2011 Valtra esitteli kuusisylinterisen T133 HiTech-biokaasutraktorin (Kuvio 16) Agritechnica-näyttelyssä. T133 käyttää dual fuel -tekniikkaa, kaasulla ajaessa tehosta keskimäärin 83 % tuotetaan kaasulla ja 17 % dieselillä. Dual fuel -moottorilla voidaan myös ajaa pelkästään dieselillä. T133 polttoainekulut ovat kaasun ja dieselin yhteiskäytöllä 10–40 % pienemmät kuin pelkästään dieselillä kulkevan traktorin. Kaasusäiliöt on sijoitettu traktorin runkoon ja niiden yhteenlaskettu tilavuus on 170 litraa. Kaasu riittää 3–5 tunnin työskentelyyn. (Kivirock.fi 2011, viitattu 11.3.2020.)



KUVIO 16. Valtra T133 (Kivirock.fi 2011, viitattu 11.3.2020)

Vuonna 2015 Valtralta oli saatavilla dual fuel -mallit N103.4, N113 ja N123. Kun ensimmäiset Valtan biokaasutraktorit käyttivät kiinteästi kaasua 83 % ja dieseliä 17 %, on uusissa malleissa käytösuhde muuttunut dynaamiseksi. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi käynnistäessä moottori voi aluksi käydä pelkällä dieselillä ja käytön aikana kaasun osuus voi nousta jopa 90 %:iin. (Pitenius 2015, viitattu 12.3.2020.)

Gomselmash Palesse GS 4218 CNG

Vuoden 2019 Agritechnica-näyttelyssä Gomselmash esitteli maailman ensimmäisen kaasutoimisen puimurin (Kuvio 17). Gomselmash kertoo puimurin olevan ainoa maataloustyökone, jonka päästöt täyttävät Stage V -päästöluokituksen ilman AdBlue-urean ruiskutusta tai hiukkassuodattinta. Puimurissa on kahdeksan kaasusäiliötä, joiden yhteenlaskettu tilavuus on 1 816 litraa. Säiliöihin mahtuu noin 400 m³ paineistettua kaasua. Työaikaa luvataan noin kahdeksan tuntia ja tankkaaminen kestää noin 15 minuuttia. Polttoainesäästöjä voi syntyä jopa 40 %. Palesse GS 4218 CNG käyttää Cummins valmistamaa moottoria, jossa on tehoa 350 hevosvoimaa. (Gomselmash 2019a; Gomselmash 2019b, viitattu 12.3.2020.)



KUVIO 17. Gomselmash Palesse GS 4218 CNG (Gomselmash 2019, viitattu 12.3.2020)

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Kirjallisuuslähteiden valinta

Opinnäytetyön teoriaosuus on koostettu melko pitkälti verkosta löytyvien biokaasuoppaiden avulla. Jonkin verran tietoa on haettu muilta nettisivuilta ja e-kirjoista. Verkosta pyrittiin löytämään aina uusin tieto aiheesta. Työn lähteenä ei ole käytetty painettuja kirjoja niiden huonon saatavuuden vuoksi.

Biokaasuoppaat olivat pdf-muotoisia, ja ne sai ladattua tietokoneelle. Lisää tietoa haimme tietokannoista, joista hakemalla löytyi runsaasti lisää verkkolähteitä ja tutkimuksia. Ohjaajamme ja toimeksiantajamme jakoivat lisäksi hyödyllisiä uutisartikkeleita ja muita työhön sopivia lähteitä.

3.2 Haastattelututkimus

Opinnäytetyötä varten kävimme tutustumassa eri maatilakokoluokan biokaasun tuottajiin. Kävimme tutustumassa myös Demeca Oy:n tehtaalla Haapavedellä. Vierailuilla pyrittiin kokoamaan ajantasaista tietoa biokaasun ja -metaanin käytöstä suomalaisilla maatiloilla ja täydentämään kirjallisuuden pohjalta muodostunutta kuvaa aiheesta. Lisäksi tarkoitus oli saada Demecalta tietoa biokaasulaitosten valmistamisesta sekä heidän näkemyksensä kotimaisen biometaanin käytön tulevaisuudesta. Vierailujen lisäksi teimme kaksi sähköposti- ja puhelinhaastattelua.

Yrityksille suunnatut kysymykset olivat jokaiselle hieman erilaiset. Yrityksistä pyrittiin ottamaan mahdollisimman paljon selvää etukäteen, jotta ei kysytä samoja asioita, joita niistä on saatavilla muualla. Tällä menetelmällä säästettiin molempien aikaa. Kysymyksistä luotiin mahdollisimman spesifejä, jotta saatiin tarkkaa tietoa esimerkiksi biokaasulaitoksen reaktorin tilavuudesta tai biometaanikäyttöisen traktorin polttoainekulutuksesta tunnissa.

Haastattelut olivat puolistrukturoituja. Kävimme tutustumassa yrityksiin ja haastattelemassa yrittäjiä paikan päällä, lukuun ottamatta kahta etänä toteutettua haastattelua. Vierailut kestivät tunnista kahdeksan tuntiin, joten asiaa tuli hyvin paljon ja kaikkiin kysymyksiin saatiin vastaukset. Ensin annoimme

haasteltavan kertoa oma-aloitteisesti yrityksestään ja biokaasun hyödyntämisestä ja lopuksi esitimme kysymykset. Haastattelut tallennettiin kokonaisuudessaan puhelimen sanelimeen, josta me peruslitteroimme ne ja kokosimme tärkeimmät kohdat haastattelututkimuksiin. Haastattelut on tällä hetkellä tallennettu sähköiseen muotoon, ja ne tuhotaan kahden vuoden kuluttua opinnäytetyön valmistumisesta.

4 TULOKSET

4.1 Biokaasun ja biometaanin hyödyntäminen suomalaisilla maatiloilla – haastattelututkimus

Haastateltaviksi valittiin yrityksiä, joiden uskottiin olevan kehittämishaluisia ja edistyneitä biokaasun hyödyntämisessä. Haastateltavat valittiin myös osittain sijainnin perusteella Pohjois-Pohjanmaan alueelta, jotta heidän yrityksissään päästiin vierailemaan. Haastattelututkimusta haluttiin laajentaa, joten valitsimme lisäksi kaksi eteläsuomalaista biokaasualan toimijaa. Niiden luona ei ollut mahdollisuutta käydä vierailemassa, joten käytimme niiden kohdalla muunlaisia haastattelumenetelmiä. Toinen haastatteluista on toteutettu puhelinhaastatteluna ja toinen on toteutettu sähköpostihaastatteluna.

Haastatteluiden tulokset on koottu omiksi alaluvuikseen. Ne on listattu toteutusjärjestykseen ensimmäisestä viimeiseen. Lopussa on yhteenveto haastatteluista. Yhteenvetoon on koottu, miten haastatelluilla tiloilla hyödynnetään biokaasua.

4.1.1 Maatalousyhtymä Salonen

Marraskuussa 2019 kävimme tutustumassa Utajärvellä sijaitsevalla Jussi ja Eero Salosen tilalla olevalla biokaasulaitoksella. Laitosta esitteli Jussi Salonen. Biokaasulaitos on valmistunut vuonna 2017 ja sen on toimittanut Demeca Oy (Kuvio 18), laitoksen reaktori on kooltaan 600 m³. Reaktorissa on yksi pitkävärtinen hitaasti pyörivä lapasekoitin ja lämmitys tapahtuu ulkoseinässä olevien lämmitysputkien avulla. Laitos maksoi noin 350 000 € ja siihen saatiin 35 % investointitukea hyväksytyistä kustannuksista. Demeca Oy pystyy ohjaamaan laitosta etänä, lisäksi he hoitavat huollot ja vikakorjaukset. Laitoksen käynnistys siihen pisteeseen, että se alkoi tuottaa hyvin biokaasua, kesti noin 2 kuukautta. (Salonen, haastattelu 25.11.2019.)



KUVIO 18. Biokaasulaitos (kuva: Mikko Aalto)

Laitoksen kaikki syötteet tulevat omalta tilalta ja niitä tulee riittävästi, jotta laitos voi toimia täydellä teholla. Syötteenä käytetään lietettä kahdesta navetasta ja lisäksi siihen sekoitetaan kuiva-ainetta (Kuvio 19). Kuiva-aineena käytetään kuivalantaa ja ylijäämärehua, joka on puhdistettu ruokintapöydältä. Syötteitten suhdetta on hankala arvioida, mutta kuiva-aineen täyttöastian koko on noin 9 m³ ja se menee reaktoriin 1–1,5 vuorokaudessa. Lietettä reaktoriin menee noin 15–20 m³ vuorokaudessa. Kun syötteet on sekoitettu, ne pumpataan reaktoriin. (Salonen, haastattelu 25.11.2019.)



KUVIO 19. Biokaasulaitoksen lietteen ja kuiva-aineen sekoitin (kuva: Mikko Aalto)

Reaktorista tuleva kaasu kuivataan ensin. Kuivaamisen jälkeen biokaasu puhdistetaan aktiivihiili-suodattimella, joka pitää vaihtaa noin vuoden välein. Kaasun rikkivetypitoisuutta mitataan käsikäyttöisellä mittarilla. Suodatuksen jälkeen kaasu siirretään joko CHP-moottoriin, jolla tuotetaan sähköä ja siitä otetaan hukkalämpö talteen, tai kaasukattilaan, jolla tuotetaan pelkästään lämpöä. Vierailun

aikaan laitos oli säädetty tuottamaan sähköä noin 1 000 kWh vuorokaudessa. Laitos itsessään kuluttaa sähköä noin 100 kWh vuorokaudessa eli noin 10 % tuotetusta sähköstä. CHP-moottoriin pitää vaihtaa sylinterinkansi kolmen vuoden välein. (Salonen, haastattelu 25.11.2019.)

Rejekti levitetään pelloille suurimmaksi osaksi vetoletkulevittimellä. Rejektillä on ollut parempi lan-noitevaikutus ja sen on huomattu vaikuttavan nopeammin kuin mädättämättömän lietelannan. Li-säksi rejektiä on helpompaa käsitellä, koska se on nestemäisempää ja siinä olevat kuidut ovat lyhyempiä homogenisointiyksikön jäljiltä. (Salonen, haastattelu 25.11.2019.)

4.1.2 Demeca Oy

Kävimme tutustumassa muun muassa biokaasulaitoksia valmistavan Demeca Oy:n tehtaaseen Haapavedellä marraskuussa 2019. Tehdasta ja Demecan toimintaa meille esitteli toimitusjohtaja Pekka Vinkki. Demecalla on pilotti kaasuntankkausasema, jota he ovat testanneet tilallaan. Ase-man tuotteistus on kuitenkin vielä kesken. Tankkausasema käyttää biokaasun jalostukseen vesi-pesutekniikkaa ja se on mitoitettu suhteellisen pienen mittakaavan laitoksille. Jos laitoksen koko kasvaa niin suureksi (kaasua 50 m³/h tai enemmän), ettei Demecan omaa jalostusyksikköä kannata käyt-tää, he pystyvät hankkimaan eurooppalaisilta yhteistyökumppaneiltaan membraanitekniikkaan pe-rustuvan jalostusyksikön. Ensimmäinen suoraan markkinoilta löytyvä laitteisto pystyy käsittele-mään kaasua 100 m³/h. Jos biokaasulaitoksia olisi tähän mennessä saanut menemään enemmän kaupaksi, olisi Demecalla todennäköisesti jo tankkausasema tuotannossa. (Vinkki, haastattelu 25.11.2019.)

Demeca tekee biokaasulaitoksille huoltosopimuksia, jolloin he hoitavat kaikki huollot. Huoltajat käy-vät laitoksilla 3 kuukauden välein, eli 4 kertaa vuodessa. Tällöin he hoitavat suurimmat huollot esi-merkiksi homogenisoinnin terien ja pumppujen vaihtamiset. Asiakkaan pitää hoitaa biokaasulaitok-sella viikkotarkastus eli rasvata, puhdistaa ja tarkistaa laitos. Lisäksi asiakkaan pitää itse huolehtia noin kuukauden välein tehtävä öljynvaihto CHP-yksikön moottorille. (Vinkki, haastattelu 25.11.2019.)

Jos biometaania halutaan kuljettaa jalostusyksiköltä kauempana sijaitsevalle tankkausasemalle, tarvitaan noin 70 000 € maksava kaasukontti. Tankkausta varten pitää olla vielä paineenkorotus, jotta kontista, jonka sisältämien kaasupullojen paine on laskenut kaasun vähentyessä, saa vielä

tankattua tankin täyteen. Vuonna 2012 pullopatteristo, jossa on 16 pulloa, maksoi 10 000 € ja sen kokonaistilavuus on 800 litraa. Pekka Vinkki uskoo, että nyt pullopatteriston voisi saada 6 000–8 000 € hintaan. (Vinkki, haastattelu 25.11.2019.)

4.1.3 Heusalan tila

Heusalan tila sijaitsee Nivalassa. Tilan biokaasulaitos on yksi Suomen vanhimmista. Se on otettu käyttöön vuonna 2000 ja on edelleenkin jatkuvassa käytössä. Biokaasulaitoksen reaktorin (Kuvio 20) nestetilavuus on 50 m³ ja syötteinä siinä käytetään naudan lietelantaa ja grilleissä käytettyä keitinrasvaa. Keitinrasvalla saa tuotettua runsaasti biokaasua, joten sitä käytetään erityisesti talvisin. Marraskuussa rasvaa käytettiin 20 litraa päivässä. Tilalla on huomattu, että peltojen satotaso on parantunut huomattavasti käytettäessä mädätysjäännöstä lannoitteena. (Junttila, haastattelu 25.11.2019.)



KUVIO 20. Heusalan tilan biokaasulaitoksen pystyreaktori (kuva: Mikko Aalto)

Heusalan tilan biokaasulaitosta pitkään operoinut Heikki Junttila uskoo, että nesteytys on tulevaisuudessa paras vaihtoehto biometaanin kuljettamiseksi, koska biometaanin energiasisältö kasvaa 600-kertaiseksi tilavuuden suhteen nesteytyksen myötä. Normaalikuutiometristä biometaania saadaan noin 600 grammaa nesteytettyä biometaania. Etuna nesteyttämisessä on myös se, että hiilidioksidi nesteytyy korkeammassa lämpötilassa kuin metaani, joten se saadaan erotettua seasta nestemäisenä. Metaani nesteytyy $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa ja hiilidioksidi noin $-57\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa (OVA-ohje: Metaani 2017; OVA-ohje: Hiilidioksidi 2017, viitattu 15.4.2020). Centriassa on kehitetty nesteyttämiseen koelaitteistoa. (Junttila, haastattelu 25.11.2019.)

Heusalan tilalla biokaasua käytetään talvisin lämmityskattilassa, jolla lämmitetään navetan käyttövettä. Käytössä on myös CHP-laitos, jota käytetään pääasiassa kesäaikaan, kun lämmitystarve on pienempi. CHP-laitoksen generaattori on sähköverkkoon tahdistettu, joten sillä voidaan myös myydä sähköä ulospäin. Junttilan mielestä sähkön hinta on kuitenkin niin heikko, ettei siihen kannata ryhtyä. (Junttila, haastattelu 25.11.2019.)

Tilalla on myös biometaanin jalostamiseen tarvittavat välineet. Käytössä on membraanimenetelmään perustuva jalostusyksikkö (Kuvio 21). Biokaasu virtaa ainoastaan yhden membraanin läpi, joka erottelee biokaasusta ainoastaan osan metaanista. Hylkyyn mennyt edelleen metaanipitoinen kaasu johdetaan lämmityskattilaan, josta se saadaan hyödynnettyä. Puhdas jalostettu biometaani voitaisiin johtaa hidastankkausasemalle. Marraskuussa 2019 jalostusyksikkö ei ollut käytössä ja hidastankkausasema sekä biokaasukäyttöinen henkilöauto eivät olleet enää tilalla. (Junttila, haastattelu 25.11.2019.)



KUVIO 21. Membranipuhdistuslaitteisto (kuva: Mikko Aalto)

Junttilalta kysyttiin, voisiko hänen mielestään biokaasua käyttää viljankuivaukseen. Hän kertoi, että kaasun tarve on kuivausaikaan niin suurta, ettei biokaasulaitos ehdi tuottaa niin suurta määrää biokaasua kuin viljan kuivauksessa kuluu. Häneltä kysyttiin myös, olisiko biometaania mahdollista varastoida esimerkiksi nesteytettynä kuivausta odottamaan, mutta hänen mielestään jalostettu biometaanin kannattaa käyttää mieluummin liikennepolttoaineena. Biokaasun tuottajalle jää parempi kate liikennepolttoaineen myynnistä. (Junttila, haastattelu 25.11.2019.)

4.1.4 Jahotec Oy

Jahotec Oy sijaitsee Limingassa. Se käsittelee biokaasulaitoksessa (Kuvio 22) teollisuuden jätteitä ja tuottavat niistä biokaasua ja mädätysjäännöstä käytettäväksi pelloille. Biokaasulaitos on ollut toiminnassa marraskuusta 2014 lähtien. Syötteet tuodaan laitokselle suurilla kuorma-auton koukukulavoilla. Syötteet menevät suoraan hygienisointiyksikköön, joka nostaa tunniksi syötteen lämpötilan yli 70 °C:seen. Hygienisointiyksikkö kuluttaa runsaasti lämpöenergiaa, noin kolmasosa biokaasulaitoksen tuottamasta biokaasusta käytetään syötteiden hygienisointiin. Hygienisointiyksikkö käsittelee syötettä noin 6 m³/h ja sen teho on noin 350 kW. Biokaasulaitoksen teoreettinen maksimiteho on noin 1 megawatti, mutta siihen ei kuitenkaan jatkuvasti päästä, koska ympäristölupa rajoittaa syötteiden vastaanottomäärää. Lisäksi laitosta ei kannatta käyttää täydellä teholla, koska tälläkään hetkellä kaikelle biokaasulle ei ole käyttöä ja sitä poltetaan soihdupolttimessa. Porttimakсут ovat biokaasulaitoksen pääasiallinen tulonlähde, joten kaasulle ei ole senkään vuoksi mietitty parasta käyttöä. (Ahola, haastattelu 16.12.2019.)



KUVIO 22. Jahotecin biokaasulaitos (kuva: Mikko Aalto)

Puhdistettua biokaasua käytetään hygienisoinnin ja laitoksen lämmityksen lisäksi omakotitalon ja koneistuslaitoksen lämmitykseen. Koneistuslaitoksen lämmityskattilan teho on 100 kW. Syksyllä viljan puinnin aikaan lähes kaikki hygienisoinnista ylijäänyt kaasu käytetään viljankuivaukseen. Kuivaamon 300 kW:n öljypoltin on korvattu 400 kW:n kaasupolttimella, mutta se on säädetty tuottamaan 300 kW:n teho. Biokaasu kuljetetaan omakotitalolle, koneistamoon ja kuivaamolle Jahotecin

asentamaa kaasuputkea pitkin. Kaasuputkessa on puolen baarin paine, jonka tuottaa kanavapuhallin. Kaasuputkesta kaasu johdetaan paineenalentimelle, joka laskee kaasun paineen sataan millibaariin. Kaasuputkeen on rakennettu vesikaivoja noin 100 metrin välein. Kaivoista voi päästää kaasuputkeen kondensoituneen veden pois. (Ahola, haastattelu 16.12.2019.)

Laitoksen tarvitsema lämpö tuotetaan lämmityskattilassa. Sähkö tuotetaan dieselkäyttöisellä aggregaatilla, joka on konvertoitu käyttämään myös biokaasua polttoaineenaan, joten se on niin kutsuttu dual fuel -moottori. Aggregaatti käynnistetään aina aamulla ja se sammutetaan illalla. Sähköä saadaan tuotettua laitoksen tarpeisiin. Biokaasulla tuotetusta energiasta noin kolmasosa on sähköä. Lämpöä ei oteta moottorilta talteen, joten aggregaatin kokonaishyötysuhde on melko heikko. Jos aggregaatin tuottama lämpö hyödynnettäisiin, saataisiin sen kokonaishyötysuhde nostettua jopa 90 %:iin. Syntynyt lämpö voitaisiin hyödyntää biokaasulaitoksen lämmittämiseen tai hygienisointiyksikön käyttöön. Aggregaatin pääsulakkeet ovat 125 A ja maksimiteho on 86 kVA. (Ahola, haastattelu 16.12.2019.)

Jahotecilla on ollut suunnitteilla yleinen liikennekaasun tankkauspaikka, mutta aseman luvituksen kanssa on tullut ongelmia. Sillä on satunnaisessa käytössä oleva liikennekaasun jalostusyksikkö. Sillä jalostetaan liikennekaasua ainoastaan omiin tarpeisiin. Jahotecilla on ajossa yksi kaasukäyttöiseksi konvertoitu kuorma-auto (Kuvio 23). Jahotec on tehnyt siihen telineet kaasusäiliöille ja Teragas Oy on tehnyt loput muutokset. (Ahola, haastattelu 16.12.2019.)



KUVIO 23. Jahotecin biometaanikäyttöinen kuorma-auto (kuva: Mikko Aalto)

4.1.5 Haapajärven ammattiopisto

Haapajärven ammattiopistolla on biokaasulaitos ja lisäksi siellä on biokaasun jalostusta biometaaniksi. Vierailulla tutustuttiin tarkemmin biokaasun jalostukseen, eikä niinkään biokaasuntuotantoon. Ammattiopistolla on käytössä membraanijalostus. Aiemmin siellä oli käytössä vesipesu, minkä oli toimittanut Metaenergia (nykyään osa Demecaa). Haapajärven membraanijalostus toimii siten, että aluksi on aktiivihiihtisuodatin, joka poistaa rikkivedyn. Sen jälkeen kaasu johdetaan matalapainekompressorille, joka paineistaa kaasun reiluun 7 baarin paineeseen. Paineistettaessa biokaasu lämpenee, joten se jäähdytetään, siitä erotellaan vesi ja se menee vielä suodattimien läpi. Sen jälkeen biokaasu taas lämmitetään noin 40 °C lämpötilaan ja syötetään membraanien läpi. Membraaneista biometaanin menee paineenalentimeen ja siitä korkeapainekompressorin kautta pullopatteriin. (Jarva, haastattelu 16.12.2019; Seppälä, haastattelu 16.12.2019.)

Pullopatteristossa (Kuvio 24) on kuusi 140 litran kaasupulloa eli pullopatterin kokonaistilavuus on 840 litraa. Pullopatteriston paino on tyhjänä 1375 kg. Pullot on jaettu kahteen eri ryhmään, mikä mahdollistaa kaasun paineistamisen eri paineisiin esimerkiksi 200 ja 250 baariin. Haapajärven ammattiopistolla on kuitenkin päätetty paineistaa kaikki pullot samaan noin 200 baariin. Pullopatteristossa on ohjaustaulu (Kuvio 25), mistä näkee kummankin puolen paineen. Lisäksi taululla voidaan ohjata, kummalta puolelta tankataan. (Jarva, haastattelu 16.12.2019; Seppälä, haastattelu 16.12.2019.)



KUVIO 24. Haapajärven ammattiopiston pullopatteristo (kuva: Mikko Aalto)



KUVIO 25. Ohjaustaulu (kuva: Mikko Aalto)

Jalostusyksikkö ja pullopatteristo hankittiin osana hanketta ”*Biokaasun puhdistus liikennekaasuksi käyttämällä tuhkapuhdistusta ja kalvoerotusta*”. Osat jalostusyksikköön toimitti Compressor Technology Finland Oy, joka hankki ne eri puolilta maailmaa. Jalostusyksikön ja pullopatteriston laiteinvestoinnit olivat noin 70 000 € ja yksikkö valmistui vuonna 2018. (Jarva, haastattelu 16.12.2019; Seppälä, haastattelu 16.12.2019.)

Ammattiopistolla oli myös jonkin aikaa käytössä Valtran tekemä dual fuel -traktori. Biokaasutraktorissa ei huomannut eroa ajettiinpa sitten kaasun ja dieselin seoksella tai pelkällä dieselillä. Traktori lähti ammattiopistolta takaisin Valtralle ja sieltä se meni Kauhajoen ammattiopistolle. (Jarva, haastattelu 16.12.2019; Seppälä, haastattelu 16.12.2019.)

4.1.6 Wennströmin tila

Wennströmin tila sijaitsee Sykäräisissä Keski-Pohjanmaalla. Tilalla on käytössä biokaasulaitos, joka on otettu käyttöön vuonna 2019. Laitoksen syötteinä käytetään noin 280 lypsylehmän ja nuorkarjan tuottamaa lietelantaa ja kuivikelantaa. Lisäsyötteinä käytetään pilaantunutta säilörehua. Biokaasu käytetään sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. Sähköä tuotetaan vuoden aikana noin 350 000 kWh, mikä kattaa maatilan sähkönkulutuksen. Lämpöä käytetään pelkästään navetassa käyttöveden lämmittämisessä. Biokaasulaitoksessa on mahdollisuus käyttää kaasua myös lämmityskattilassa, jos lämmön tarve esimerkiksi talvella on runsaampaa. (Wennström, haastattelu 14.2.2020.)

Biokaasun tuotantoprosessissa syntyvä rejekti separoidaan kuiva- ja nestejakeeksi. Syntynyt kuivajae voidaan hyödyntää navetassa parsien kuivutukseen, mutta tällä hetkellä sitä ei käytetä kuivikkeena, vaan se levitetään pellolle. Kuivajakeen kuiva-ainepitoisuus on noin 35 % ja se on hyvin fosforipitoista. Separoinnissa syntynyt nestejake sisältää vain vähän fosforia ja runsaasti typpeä. Nestejakeessa oleva typpi on pitkälti liukoissa muodossa eli kasveille paremmin käyttökelpoisessa muodossa. Nestejake levitetään tilalla vain navetan lähimmille pelloille, ja sillä voidaan korvata teollisia lannoitteita. Kuivajae levitetään kauempana sijaitseville pelloille, sillä se on kevyttä ja helppo kuljettaa. Kauimmaisilla pelloilla myös fosforille on yleensä enemmän tarvetta. (Wennström, haastattelu 14.2.2020.)

4.1.7 Suupohjan koulutuskuntayhtymä Vuoksi

Maaliskuussa 2020 olimme yhteydessä Suupohjan koulutuskuntayhtymä Vuoksiin, koska halusimme tutustua Kauhajoen ammattiopiston biokaasulaitokseen, biokaasun jalostukseen ja biokaasutraktoriin. Kauhajoelle valmistui vuonna 2016 BioGTS:n valmistama kuivamädätyslaitos. Reaktorin koko on 270 m³. Laitos on mitoitettu vastaanottamaan syöteinä 3000 tonnia perunan soluneste- ja kuorimassaa, 1600 tonnia separoitua lietelantaa ja 400 tonnia rehua vuodessa. Erinäisten ongelmien takia syötteitä ei ole pystytty syöttämään tätä määrää. BioGTS lupasi laitoksen tuottavan biokaasua keskimäärin 40 m³/h, mutta todellisuudessa laitos tuottaa vain noin 10–15 m³/h. Laitos vaatii yhden henkilön lähes jatkuvan työpanoksen. Laitoksen kustannukset olivat noin 1,2 miljoonaa euroa, johon sisältyi reaktori, CHP-yksikkö ja jalostuslaitos. (Soini, sähköpostiviesti 25.3.2020.)

Biokaasu puhdistetaan aktiivihillisuodattimella, jonka jälkeen puhdistettu kaasu syötetään CHP-moottorille. Moottorin teho on 50 kW. Kaasun jalostukseen käytetään PSA-tekniikkaa eli fysikaalista adsorptiota aktiivihilleen. Jalostuskapasiteetti on 20 Nm³/h biokaasua ja paineistuskapasiteetti on 12 Nm³/h biometania. Jalostuslaitoksella on ollut toiminnallisia puutteita ja virheitä. Biometania käytetään autojen ja traktoreiden tankkaamiseen. Tankkausaseman kaasusäiliöiden tilavuus on hieman alle 4000 litraa ja se toimii korttimaksuperiaatteella. Se ei ole ollut kuitenkaan käytössä yli vuoteen, koska jalostuslaitos on käyttökiellossa. (Soini, sähköpostiviesti 25.3.2020.)

Koulutilalla on kaksi biokaasutraktoria: Haapajärveltä tullut Valtra N101 ja Valtra N143 HiTech. Jälkimmäinen konvertoitiin biokaasukäyttöiseksi (Kuvio 26). Osat hankki ja konvertoinnin toteutti Afcon Oy Laukaalla. Konvertoinnissa traktorista poistettiin urealaitteisto, 230 litran polttoainesäiliö,

pohjajanssari ja pienempiä osia. Tilalle asennettiin biokaasulaitteisto, kaasusäiliöt ja alkuperäisen 230 litran polttoainesäiliön tilalle noin 100 litran polttoainesäiliö. Konvertointiin tarvittavat osat maksoivat noin 10 000 €. Työt poikkeuslupahakemuksineen maksoivat noin 15 000 €. Jokainen muunnettava traktori pitää hyväksyttää poikkeuslupakäsittelyn kautta Traficomilla. Käyttökokemukset biokaasutraktoreista ovat hyviä eikä eroa normaaliin traktoriin huomaa käytössä. Rajoittavaksi tekijäksi biokaasutraktoreille kerrotaan tankkauspisteiden puute. (Soini, sähköpostiviesti 25.3.2020.)



KUVIO 26. Valtra N143 (kuva: Pekka Soini)

4.1.8 Knehtilän tila

Huhtikuussa 2020 haastattelimme Knehtilän tilan isäntää Markus Eerolaa. Tilalla on Nivos Oy:n rakentama biokaasulaitos, jonka on toimittanut Metener Oy. Tilalla on kaksi laakasiilomaista 800 m³ reaktoria. Ne ovat panostyyppisiä ja niissä hyödynnetään kuivamädätystä. Pääasiallisena syöteenä käytetään luomunurmea. (Eerola, haastattelu 3.4.2020.)

Biokaasulaitokselta menee kaasuputki asuinrakennukselle, missä kaasua käytetään lämmitykseen. Lisäksi laitokselta menee kaasuputki kuivurille, mutta vielä ei ole löytynyt järjestelmää, joka mahdollistaisi kaasun käyttämisen viljankuivaukseen. Kuivurissa on 450 kW:n kattilat, joihin pitäisi biokaasua varten laittaa suuremmat polttimet, mutta ne eivät sovi kattiloihin. Tilalla on Valtralta vuokrattu N123 biokaasutraktori. Biokaasutraktorin käyttökokemukset eivät eroa normaalista traktorista. (Eerola, haastattelu 3.4.2020.)

4.1.9 Haastattelututkimuksen yhteenveto

Haastatteluun osallistuneilla tiloilla biokaasua käytetään yleisemmin lämmöntuotantoon ja yhdistettyyn lämmön- ja sähköntuotantoon (Taulukko 2). Viljankuivaukseen biokaasua käyttää yksi tila. Toisella tilalla on tarkoitus alkaa käyttämään biokaasua viljankuivaukseen, kunhan laitteisto saadaan muutettua sopivaksi. Biokaasua jalostetaan tällä hetkellä biometaaniksi kahdella haastatelluista tiloista, kolmannella tilalla on myös järjestelmä sitä varten, mutta se on tällä hetkellä käyttökiellossa. Yhdellä tilalla on jalostuslaitteisto, mutta se ei ole tällä hetkellä käytössä. Yhteensä jalostuslaitteisto on neljällä biokaasuntuottajalla, mutta aktiivisessa käytössä laitteisto on ainoastaan kahdella.

Biometaanikäyttöisiä traktoreita on tällä hetkellä käytössä kahdella haastatellulla tilalla. Molemmilla on käytössä Valtran dual fuel -traktori. Yhdellä tilalla on aikaisemmin ollut Valtran dual fuel -traktori käytössään, mutta se on palautettu takaisin valmistajalle. Valmistajalta traktori on siirtynyt seuraavalle käyttäjälle. Selvitystä tehdessä vastaan tuli vain kolme käytössä olevaa biometaanitraktoria.

TAULUKKO 2. Biokaasun käyttömäärät eri käyttötavoilla

Biokaasun käyttötapa	Käyttömäärä (Kpl)
Lämmöntuotanto	4
Yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto	4
Jalostus biometaaniksi	2
Viljankuivaus	1

4.2 Kehittämistehtävä kohdetilalle

Kehittämistehtävässä haluttiin saada vastaus kysymykseen: onko biometaanin käyttö kannattavaa viljankuivauksessa ja työkoneiden polttoaineena tilalla, jolla ei ole omaa biokaasulaitosta? Gasumin kanssa käytyjen keskusteluiden pohjalta päädyimme esittämään vaihtoehtoa, jossa Gasum toimittaisi tilalle biometaania kaasukontissa (Kuvio 27). Kaasukonttiin mahtuu noin 20 MWh energiaa, mikä vastaa noin 1 440 kg biometaania (Karjala, sähköpostiviesti 30.3.2020). Tila joutuisi ostamaan kaksi kaasukonttia omaksi, jotta konttien käyttäminen olisi sujuvaa. Toinen kontti olisi tilalla käytössä ja toinen Gasumilla täytettävänä tai kuljetuksessa. Kaasukontit on lastattu täyteen 200 baarin paineen kestäviä kaasupulloja, joihin biometaani paineistetaan kuljetuksen ja varastoinnin ajaksi. Kaasupullojen valmistaja kieltää pullojen käytön 20 vuoden kuluttua valmistuspäivästä (Luxfer Gas Cylinders, 51), joten konttien käyttöikä on korkeintaan 20 vuotta. Siinä vaiheessa, kun käytössä ollut kontti alkaa olla tyhjä, tilalle toimitetaan täysi kontti ja tyhjä kontti lähtee paluukyydillä takaisin Gasumille täytettäväksi.



KUVIO 27. Gasumin biokaasukontteja (UMO Advanced Composites 2018, viitattu 1.4.2020)

4.2.1 Työkoneet

Nykyiset traktorit voisi konvertoida käyttämään biometaania, jota tilalle tuodaan biometaanikon-
tissa. Jos moottori käyttää sekä biometaania että polttoöljyä polttoaineenaan, puhutaan dual fuel -
moottorista. Vuoden 2019 aikana traktorit käyttivät 8 000 litraa polttoöljyä. Konvertoinnin myötä
polttoöljyn kulutus laskee noin 10 %:iin nykyisestä käytöstä, joten kulutus olisi noin 750 litraa vuo-
dessa. Traktorin konvertoiminen maksaa 10 000–15 000 € (Puuperä 2013, viitattu 11.3.2020). Mo-
lempien traktoreiden konvertoiminen maksaa siis noin 25 000 €. Tällä hetkellä tukea voi saada 35

% tukikelpoisista kustannuksista. Se lyhentää traktoreiden muutostyön takaisinmaksuaikaa. Traktorit käyttävät polttoöljyä keskimäärin 10 litraa tunnissa, mutta muutostyön jälkeen polttoöljyn kulutus laskee yhteen litraan tunnissa ja vastaavasti biometaania käytetään noin 8,5 kg/h. Traktoreihin tulee vuodessa noin 800 käyttötuntia, joten biometaanin kulutus traktoreissa on noin 6 800 kg vuodessa ja polttoöljyn noin 800 litraa vuodessa.

Puimuria ei välttämättä kannata konvertoida, koska sen polttoaineen kulutus on melko vähäistä. Traktorit konvertoimalla saadaan tilan työkoneiden polttoöljyn käyttöä laskettua 8 000 litrasta 1 800 litraan. Siispä polttoöljyn kulutus laskisi traktoreiden ja puimurin osalta noin 78 %.

4.2.2 Kuivuri

Vuonna 2019 tila on tuottanut rehuviljaa omilta pelloiltaan noin 320 tonnia. Vilja on puitu 80 hehtaarin alueelta, joten keskimääräiseksi satotasoksi saadaan noin 4 000 kg/ha. Yhteen kuivauserään mahtuu 8 000 kg viljaa, joka vastaa kahden hehtaarin satoa. Yhtä viljaerää on kuivattu 7,5 tuntia, joten yhden viljaerän kuivaamiseen kuluu noin 190 litraa polttoöljyä.

Jos viljankuivuri muutetaan käyttämään biometaania polttoöljyn sijaan, siinä ei tarvitse käyttää ollenkaan polttoöljyä. Kuivurissa on käytetty syksyn aikana 7 500 litraa polttoöljyä. Määrä vastaa energiasisällöltään noin 5 400 kg metaania.

4.2.3 Laskelmat

Pienempi kaasukontti maksaa karkeasti arvioituna 100 000 €, joten kaksi konttia maksaa 200 000 €. Yhteen konttiin mahtuu 20 MWh edestä kaasua. Biometaanin käyttö lämmityskattilassa vaatisi paineen alentamisen muutamaan kymmeneen millibaariin, kun taas biometaanin paine kontissa on korkeimmillaan 250 baaria. Kaasun painetta on laskettava paineenalentimella. Lisäksi kuivurin polttimen täytyy muuttua biometaanikäyttöiseksi. Paineenalentimen ja polttimen arvioidaan maksavan 5 000 €. Investoitavien laitteiden arvo olisi yhteensä noin 230 000 €. Jos investointi jaetaan 20 vuoden käyttöajalla, saadaan vuosikohtaiseksi kuluksi 11 500 € (Taulukko 3).

TAULUKKO 3. Investointien vuosikohtainen kustannus

Kaasukontit 2 kappaletta	200 000€
Paineenalennin ja poltin kuivuriin	5 000 €
Traktoreiden konvertoiminen 2 kappaletta	25 000 €
Investoinnit yhteensä	230 000 €
Laskennallinen käyttöaika	20 vuotta
Vuosikohtainen kulu	11 500 €

Gasumilta ei osattu antaa suoraa hintaa kaasulle, sillä siihen vaikuttaa niin moni asia. Hintaan vaikuttaa esimerkiksi vuosikohtainen kulutus, kulutuksen tasaisuus, käyttöpaikka ja sopimuksen kesto. (Karjala, sähköpostiviesti 30.3.2020.) Gasumilla biometaania myydään kuluttajakäyttöön hintaan 1,49 €/kg (Gasum 2020, viitattu 5.4.2020). Oletimme, että biometaania saataisiin hieman edullisemmin, jos sitä ostettaisiin suuria määriä. Kaasua käytettäisiin 12 200 kg ja sen hinnaksi arvioidaan 1,35 €/kg. Biometaanin hinnaksi vuoden aikana saadaan 16 470 €. Polttoöljyä kuluu edelleen hieman traktoreissa ja leikkuupuimurissa, vuosittainen käyttö olisi noin 1 800 litraa. Polttoöljyn keskihinnan ollessa 90 senttiä sen käytöstä aiheutuu vuosittain noin 1 620 € menot. Biometaanian ja polttoöljyä tilalla kuluisi muutoksen jälkeen yhteensä noin 18 090 €:n edestä (Taulukko 4).

TAULUKKO 4. Polttoaineiden kulutus tilalla muutoksen jälkeen

Kaasun kulutus 6 800 kg + 5 400 kg	16 470€
Polttoöljyn kulutus 1 800 l	1 620 €
Yhteensä	18 090 €

Tulopuolelle (Taulukko 5) voidaan laskea polttoöljyn käytön väheneminen ja konvertoimisesta saatava tuki. Polttoöljyn käyttö vähenisi vuodessa 13 700 litraa, joten säästöä tulisi noin 12 300 €. Traktoreiden konvertoimiseen on saatavilla tuki, joka kattaa 35 % hyväksytyistä kustannuksista. Tuki täytyy jakaa myös laskennallisella käyttöiällä, jotta saadaan tietää, minkä suuruinen on vuosikohtainen säästö. Traktoreiden konvertoiminen maksaa noin 25 000 €, ja oletetaan, että koko kustannukselle saadaan 35 %:n tuki. Tuen suuruus on noin 8750 €, ja traktorin käyttöikä on sama 20

vuotta kuin muidenkin investointien, joten vuosikohtaiseksi tuloksi saadaan noin 450 €. Tuloja tai säästöjä tulisi biometaanin siirtymisen myötä vuodessa yhteensä noin 12 750 €.

TAULUKKO 5. Tilalle muutoksista aiheutuvat säästöt tai tulot

Polttoöljyn käytön vähentyminen 6 200 l + 7 500 l	12 300 €
Konvertointituki jaettuna 20 vuodelle	450 €
Yhteensä	12 750 €

4.2.4 Laskennan tulokset

Vuoden aikana biometaanin käytöstä syntyy säästöjä polttoöljyn käytön vähentymisestä 12 300 €. Tuloja syntyy vuoden aikana traktoreiden konvertoimistuesta 450 €. Yhteensä tuloja tai säästöjä syntyy vuodessa 12 750 €. Kustannuksia investoinneista syntyy vuodessa 11 500 €. Vuoden aikana tarvittava biometaanin maksaa tilalle 16 470 €, ja vuoden aikana tarvittava polttoöljy maksaa 1 620 €. Yhteensä polttoaineet maksavat 18 090 €. Laskelma (Taulukko 6) osoittaa, että biometaanin käyttöön siirtyminen olisi tappiollista 16 840 € vuodessa.

TAULUKKO 6. Biometaanin käyttöön siirtymisen jälkeen lasketut tulot tai säästöt ja menot

Muutoksen myötä syntyvät säästöt tai tulot	12 750 €
Investointien vuosikohtainen kustannus	-11 500 €
Polttoaineista aiheutuva kustannus	-18 090 €
Yhteensä	-16 840 €

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Luvussa 4.2.4 esitetyt laskelmien tulokset osoittavat, ettei kohdetilan kannata käyttää biometaanina polttoaineena ainakaan tässä työssä esitetyllä tavalla. Muutokset olisivat liian kalliita eikä tavoiteltua rahallista säästöä syntyisi. Näillä laskelmilla biometaanin käyttö muutoksineen olisi tappiollista lähes 17 000 € vuodessa. Tällä hetkellä moottoripolttoöljyn verotus on sen verran kevyttä, ettei se motivoi vaihtamaan energianlähdettä uusiutuvaan energiaan. Polttoöljy maksaa tilalle vain noin 90 senttiä litralta. Jos taulukoissa käytettäisiin polttoöljyn sijasta dieselöljyn hintaa, muuttuisivat tulokset varmasti positiivisemmiksi muutoksen kannalta. Halpa polttoöljyn hinta laskee myös muutoksen myötä syntyviä säästöjä, koska suurin osa säästöistä syntyy polttoöljyn käytön vähentymisestä.

Laskelmissa suurin vuotuinen menoerä ovat polttoainekustannukset, jotka olisivat hieman yli 18 000 €. Biometaanin osuus siitä olisi noin 16 500 €. Jos biometaania saataisiin hankittua halvemmalla, olisi lopputulos muutoksen kannalta edullisempi. Lisäksi on mahdollista, ettei kuivuriin pysty vaihtamaan kaasupoltinta suoraan öljypolttimen tilalle. Tästä syystä on mahdollista, että kuivuriin joutuu tekemään isompiakin muutoksia. Isommat muutokset kuivuriin taas nostavat investointien hintaa.

Kyseisille muutoksille saattaa saada investointitukea, koska ne ovat ympäristöystävällisiä investointeja. 35 %:n tuki investoitaviin laitteisiin parantaa huomattavasti laskelmia ja se saattaisi mahdollistaa biometaanin käytön maatilalla. Kaasukontin vuokraaminen olisi paljon järkevämpi ratkaisu tilan kannalta, sillä kahden kontin omistaminen sitoo valtavasti pääomia.

Dual fuel -tekniikkaa hyödyntävät traktorit käyttävät koko ajan vähän dieseliä tai moottoripolttoöljyä biometaanin kanssa. Tämän takia näillä koneilla saatavat säästöt jäävät pieneksi ja lisäksi ne tuottavat enemmän päästöjä kuin mono fuel -tekniikkaa hyödyntävät traktorit, jotka käyttävät polttoaineena vain kaasua. Traktorivalmistajilla biometaanikäyttöiset koneet ovat jääneet vähälle huomiolle, eivätkä ne ole yleistyneet toivotulla tavalla. Yksi keskeinen ongelma traktoreiden myynnissä on varmasti biometaanin tankkausasemien vähäisyys maaseudulla. Ainoa mahdollinen tankkausasema on yleensä omalla tilalla, jos siellä tuotetaan biokaasua. Toinen ongelma voisi olla, että uutta tekniikkaa vierastetaan aina aluksi ja siitä halutaan käyttäjäkokemuksia ennen kuin se hankitaan itselle. Haastatteluista selvisi, että dual fuel -tekniikkaa hyödyntävät traktorit eivät eroa käytön puolesta normaaleista traktoreista.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin syksyllä 2019. Syksyllä etsimme opinnäytetyötä varten lähteitä ja kävimme tutustumassa maatiloilla ja yrityksissä. Alussa hankaluuksia tuotti lähdemateriaalin löytäminen aiheesta, koska biometaanista ei ole juurikaan kirjoitettu tieteellisiä julkaisuja suomeksi. Tästä syystä jouduimme käyttämään suurimmaksi osaksi englanninkielisiä lähteitä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten biokaasua ja biometaanä hyödynnetään tällä hetkellä maaseudulla ja miten biometaanä voitaisiin hyödyntää. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, onko biometaanä mahdollista käyttää viljankuivaukseen ja traktoreiden polttoaineena tilalla, jolla ei ole omaa biokaasulaitosta.

Opinnäytetyössä selvitettiin biometaanikäyttöisten maatilan työkoneiden markkinatilannetta sekä käyttökokemuksia tiloille tehtyjen haastattelujen yhteydessä. Tehdasvalmisteisia kaasutraktorimalleja löytyy kolmelta valmistajalta: Valtralta, New Hollandilta ja Steyriltä. Näiden käyttö ei ole kuitenkaan vielä juuri yleistynyt. Kolmella haastatteluun osallistuneella tilalla oli käytössä tai oli ollut käytössä Valtran kaasutraktoreita. Vuoksen ammattiopistolla oli toteutettu onnistunut traktorin kaasukonversio, jonka kustannukset ovat 15 000–25 000 €. Traktorin kaasukonversioon on mahdollista saada investointitukea kattamaan osaa kustannuksista. Kaasutraktoreiden käyttäjien kommentit noudattivat samaa linjaa eli ”toimii aivan samalla tavalla kuin tavallinen traktori”.

Suuria huolia traktorin konvertoimisessa aiheuttaa Traficomien säädös, jonka mukaan jokainen muunnettava traktori pitää hyväksyttää poikkeuslupakäsittelyn kautta Traficomilla. Poikkeusluvut ovat kalliita ja aiheuttavat turhaa byrokratiaa. Pahimmillaan säädös saattaa vähentää traktoreiden konvertoimista. Traktoreita olisi tärkeää saada muutettua biometaanikäyttöisiksi, koska niiden konvertoiminen kaasukäyttöiseksi pienentää tuntuvasti niistä aiheutuvia päästöjä. Biometaanin käytöstä aiheutuvaa vaikutusta ympäristölle on kuitenkin vaikea arvioida tarkasti, koska biometaanin hiilijalanjälki vaihtelee paljon. Hiilijalanjälkeen vaikuttaa esimerkiksi, miten biometaanä on tuotettu ja mistä se on kuljetettu.

Kehittämistehtävänä selvitettiin biometaanin hyödyntämismahdollisuuksia viljan tuotantoa harjoittavalla maatilalla. Tehtävässä kartoitettiin aluksi viljan kuivaukseen käytettävää öljyn määrää sekä

tilan kahden traktorin ja puimurin polttoaineen kulutusta. Polttoaineeksi jalostetun biometaanin siirtoon maatilalle ei ole vakiintunutta ratkaisua. Kehittämistehtävässä biometaanin siirto maatilalle oletettiin tehtävän Gasumin tarjoamalla kaasukontti-ratkaisulla, jota ensisijaisesti käytetään biometaanin siirtoon julkisille kaasun tankkausasemille. Kahden Gasumin kaasukontin ja muiden laitteistojen investointikustannukset maatilakokoluokan käytössä nousevat niin korkeiksi, ettei se ole taloudellisesti kannattava ratkaisu maatilalla käytettävän öljyn korvaamiseen. Jatkossa olisikin tärkeää kehittää biometaanin varastointiin ja siirtoon oma ratkaisu pienemmille kaasun käyttömäärille.

Opinnäytetyön tekeminen sujui melko pitkälti opinnäytetyösuunnitelman aikataulun mukaan. Teoriaosuuden aloittaminen viivästyi hieman, mutta aloitettuaamme työn kirjoittamisen, pääsimme melko pian tavoiteaikatauluun. Opinnäytetyön loppuviimeistely vaati paljon enemmän aikaa kuin aikataulutuksessa oli otettu huomioon. Kaiken kaikkiaan työ kuitenkin saatiin valmiiksi siinä ajassa kuin sille oli varattukin.

Työn tuloksiin vaikuttaa hieman muutama arvio investoitavien laitteiden hinnoissa. Biometaanin hinta-arvion paikkansapitävyys vaikuttaa jonkin verran lopputulokseen, muttei senkään muutoksilla todennäköisesti saada investointia vaikuttamaan järkevältä. Suurin tekijä kehittämistehtävän kannalta olisivat mahdolliset investointituet, joita mahdollisesti saa muutokselle. Tuen määrä olisi niin merkittävä, että sillä saisi muutoksen vaikuttamaan realistiselta ja se lyhentäisi huomattavasti laitteiston takaisinmaksuaikaa.

Tulevaisuudessa kannattaisi tutkia, miten tässä työssä käytettyä kuljetusmatkaa lyhyempi matka vaikuttaisi kannattavuuteen. Siirto kannattaisi tehdä vaikkapa kaasuputkella. Lyhyen kaasuputken investointikustannukset ovat maltilliset, eikä pääomia tarvitse sitoa toisin kuin kaasukontti-ratkaisussa. Biometaani voitaisiin tuoda viljatilan käyttöön esimerkiksi keskitetyltä biokaasulaitokselta, joka sijaitisi tilan läheisyydessä. Kaasun hinta voitaisiin sopia molempia osapuolia tyydyttäväksi. Biometaanikäyttöistä viljankuivuria voisi kannattaa suunnitella paljon suuremmalle viljatilalle. Suuremman viljatilan kaasun käyttömäärät ovat huomattavasti suuremmat ja kaasun hinta saataisiin mahdollisesti sovittua alhaisemmaksi. Traktoreita käytetään suurella tilalla myös paljon enemmän.

LÄHTEET

Ahola, A. 2019. Laitosvastaava, Jahotec. Haastattelu 16.12.2019. Tekijän hallussa.

Air Liquide 2020a. Biogas. Viitattu 10.3.2020, <https://www.airliquideadvancedseparations.com/our-membranes/biogas>

Air Liquide 2020b. Kaasujen turvallinen kuljettaminen soveltumattomissa ajoneuvoissa. Viitattu 12.3.2020, <https://teollisuusalat.airliquide.fi/turvallisuus/kaasujen-turvallinen-kuljettaminen-tarkoitukseen-soveltumattomissa-ajoneuvoissa>

Aktiivihiihi 2020. Kaasun puhdistus. Viitattu 20.2.2020 <https://www.aktiivihiihi.fi/tuotteet/kaasun-puhdistus>

Autoalan tiedotuskeskus 2020. Bio- ja maakaasu. Viitattu 20.2.2020, http://www.aut.fi/tieliikenne/polttoaineet_ja_kayttovoimat/bio-_ja_maakaasu

Biokaasuauto.fi 2020. Biokaasun jalostus biometaaniksi. Viitattu 26.2.2020, <https://www.biokaasuauto.fi/biokaasu/biokaasusta-biometaanina>

Biovoima 2020. Kaasun logistiikkaratkaisut. Viitattu 27.2.2020, <https://biovoima.com/ratkaisut/kaasun-logistiikkaratkaisut>

Eerola, M. 2020. Tilan isäntä, Knehtilän tila. Puhelinhaastattelu 3.4.2020. Tekijän hallussa

Farm Trader 2020. Tractors of the future. Viitattu 11.3.2020, <https://www.farmtrader.co.nz/features/2001/tractors-of-the-future-showcased-at-agritechnica>

FNR 2012. Guide to Biogas - From production to use. Viitattu 20.2.2020, https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/g/u/guide_biogas_engl_2012.pdf

FNR 2013. Biomethane. Viitattu 12.2.2020, <https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/i/biomethane.pdf>

Gasgrid Finland Oy 2020a. Suomen kaasumarkkinat avautuivat ja Gasgrid Finland Oy on aloittanut toimintansa. Viitattu 26.2.2020, <https://gasgrid.fi/2020/01/01/suomen-kaasumarkkinat-avautuivat-ja-gasgrid-finland-oy-on-aloittanut-toimintansa/>

Gasgrid Finland Oy 2020b. Muut palvelut. Viitattu 26.2.2020, <https://gasgrid.fi/palvelumme/muut-palvelut/>

Gasgrid Finland Oy 2020c. Siirron palvelut. Viitattu 26.2.2020, <https://gasgrid.fi/palvelumme/siirron-palvelut/>

Gasum 2020. Maa- ja biokaasun hinnat tankkausasemilla. Viitattu 5.4.2020, <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkaushinnat/>

Gasum Oy 2018. Speed Group aloittaa Gasumin kaasukonttien kuljettamisen. Viitattu 11.3.2020, <https://www.gasum.com/gasum-yrityksena/medialle/uutiset/2018/speed-group-aloittaa-gasumin-kaasukonttien-kuljettamisen/>

Gomselmash 2019a. How Gomselmash is going to surprise Europe? Viitattu 12.3.2020, <https://eng.gomselmash.by/press-tsentr/how-gomselmash-is-going-to-surprise-europe/>

Gomselmash 2019b. Grain combine harvester Palesse GS 4218 CNG. Viitattu 12.3.2020, <https://eng.gomselmash.by/images/%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8/gaz/PALESSE%20GS%204218%20CNG%20BY%20GOMSELMASH.pdf>

Gustafsson, M. & Stoor, R. 2008. Biokaasun hyödyntämisen käsikirja. Viitattu 11.3.2020, <https://is-suu.com/enjaoy/docs/biokaasunkasikirja>

Helen Sähköverkko 2017. Ohjeet sähköä tuottavan laitteiston liittämiseksi Helen Sähköverkko Oy:n sähkönjakeluverkkoon. Viitattu 10.3.2020, <https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/palvelut/ohjeet/hsv-yleista-laitteiston-liittaminen-su40317.pdf>

IEA Bioenergy 2007. Biogas Upgrading to Vehicle Fuel Standards and Grid Injection. Viitattu 22.2.2020, https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2007/12/upgrading_report_final.pdf

IEA Bioenergy 2009. Biogas upgrading technologies – developments and innovations. Viitattu 13.2.2020, https://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/publi-task37/upgrading_rz_low_final.pdf

IEA Bioenergy 2014. Non-grid biomethane transportation in Sweden and the development of the liquefied biogas market. Viitattu 10.3.2020, https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/01/Case_Study_LBG_web.pdf

Jarva, K. 2019. Projekti-insinööri, Jokilaaksojen koulutuskuntayhtymä. Haastattelu 16.12.2019. Tekijän hallussa.

Junttila, H. 2019. Tilan isäntä, Heusalan tila. Haastattelu 25.11.2019. Tekijän hallussa.

Karjala, R. 2020. Kysymyksiä kaasukonteista. Senior Manager, Sales Management, Gasum. Sähköpostiviesti 30.3.2020.

Kivirock.fi 2011. Valtra esitteli kuusisylinterisen SCR-moottorilla varustetun biokaasutraktorin. Viitattu 11.3.2020, <https://www.kivirock.fi/uutiset.html?a6800=270>

Laakkonen 2012. Biokaasutraktori pörisee puhtaasti. Viitattu 11.3.2020, <https://yle.fi/uutiset/3-6138307>

Landtechnik Magazin 2011. Steyr stellt neuen Profi 4135 Natural Power mit (Bio-)Erdgasantrieb vor. Viitattu 11.3.2020, <https://www.landtechnikmagazin.de/Traktoren-XLBild-Der-neue-Steyr-Profi-4135-Natural-Power-mit-Bio-Erdgasantrieb-Markteinfuehrung-ist-fuer-2015-geplant-17424-3068.php>

Lemvig Biogas 2008. Biogas Handbook. Viitattu 12.2.2020 <https://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>

Luxfer Gas Cylinders 2020. User Manual. Viitattu 1.4.2020, https://www.luxfercylinders.com/img/rm_img/blog_img/460/attachments/1/Luxfer_GStor_Manual_October_2018.pdf

Metener Oy 2017. Maakaasun tankkauslaite koti- ja yrityskäyttöön. Viitattu 27.2.2020, <http://www.metener.fi/wp-content/uploads/2017/12/tankkauslaite.pdf>

Motiva Oy 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. Viitattu 19.1.2020, https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf

MOTORJIKOV Group 2020. MJ VARIANT PLUS FILLING STATION. Viitattu 27.2.2020, <http://www.jikovcng.com/products/mj-variant-plus-filling-station/>

New Holland Agriculture 2019. New holland unveils the world's first production T6 methane power tractor at Agritechnica 2019. Viitattu 11.3.2020, <https://agriculture.newholland.com/eu/en-uk/about-us/whats-on/news-events/2019/new-holland-unveils-the-first-t6-methan-power-tractor>

NVG Global News 2011. Steyr Presents Dedicated Natural Gas Tractor. Viitattu 11.3.2020, <http://www.ngvglobal.com/blog/steyr-presents-dedicated-natural-gas-tractor-1130>

OVA. OVA-ohje: Hiilidioksidi 2017. Viitattu 15.4.2020, <https://www.ttl.fi/ova/hiilidioksidi.html>

OVA. OVA-ohje: Metaani 2017. Viitattu 15.4.2020, <https://www.ttl.fi/ova/metaani.html>

Pitenius, T. 2015. Biokaasutraktorin uusi sukupolvi. Valtran asiakaslehti 01/2015. Viitattu 12.3.2020, <https://docplayer.fi/6136452-Vuoden-kone-sivu-t-sarja-on-valtra-palkittiin-kehittamisen-lahtokohtana-kayttajien-tarve-tehostaa-tyota-pienillakin-peltoaloilla.html>

Puuperä 2013. Biokaasusta vaihtoehto dieselille. Viitattu 11.3.2020, <https://maatilanelervo.fi/2013/11/21/biokaasusta-vaihtoehto-dieselille/>

Salonen, J. 2019. Tilan isäntä, Maatalousyhtymä Salonen. Haastattelu 25.11.2019. Tekijän halussa.

Seppälä, T. 2019. Suunnittelija, Jokilaaksojen koulutuskuntayhtymä. Haastattelu 16.12.2019. Tekijän hallussa.

Soini, P. 2020. Kysymyksiä biokaasusta. Hankepääällikkö, Suupohjan koulutuskuntayhtymä. Sähköpostiviesti 25.3.2020.

Suomen Maalämpötukku 2020. Öljy-/ kaasukattila. Viitattu 12.2.2020, <https://www.maalampotukku.fi>

Suomen kaasuyhdistys 2020. Biokaasun turvallisuusohje. Viitattu 19.3.2020, <https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/biokaasun-turvallisuusohje/>

Söderena, P., Suomalainen, M., Kajonlinna, T. & Melin, K. 2019. Biometaanin välivarastointi ja varastointi ajoneuvoissa – Tulevaisuuden mahdollisuudet. Teknillinen tutkimuskeskus VTT Oy. Tutkimusraportti 02/2019. Viitattu 19.3.2020, https://energiayrittajyys.fi/sites/energiatehokkaasti/files/biometaanin_varastointi_ajoneuvossa_002.pdf

Työ- ja elinkeinoministeriö 2020. Biokaasuohjelmaa valmisteleavan työryhmän loppuraportti. Viitattu 20.2.2020, http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162032/TEM_2020_3_Biokaasuohjelmaa%20valmisteleavan%20tyoryhman%20loppur%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y

UMOE Advanced Composites AS 2018. CNG/Biogas. Viitattu 6.4.2020, https://www.uac.no/wp-content/uploads/2018/10/CNG-and-Biogas_UAC-Datasheet_mail.pdf

UMOE Advanced Composites AS 2020. Transport modules for CNG and Biogas – Overview. Viitattu 10.3.2020, <https://www.uac.no/container-transportation-solutions/cngbiogas/>

Vinkki, P. 2019. Toimitusjohtaja, Demeca Oy. Haastattelu 25.11.2019. Tekijän hallussa.